

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAMAŞIR MAKİNESİ TAMBUR ARKA SAC TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur ATAŞ

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAMAŞIR MAKİNESİ TAMBUR ARKA SAC TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Onur ATAŞ
(503131214)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Konstrüksiyon Programı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İsmail GERDEMELİ

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503131214 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Onur ATAŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ÇAMAŞIR MAKİNESİ TAMBUR ARKA SAC TASARIMI**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. İsmail Gerdemeli**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Cevat Erdem İmrak**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Tamer Kepçeler
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **28 Mayıs 2015**

Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamda bana her zaman yol gösteren, görüş ve düşünceleri ile katkıda bulunan değerli hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. İsmail Gerdemeli'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu projenin her aşamasında yardımlarını benden esirgemeyen ve bu çalışmanın oluşmasını sağlayan BSH Ev Aletleri Sanayi ve Ticaret A.Ş. Çamaşır Makinesi Fabrikası AR-GE Yöneticisi Sn. Kadir Özgen, Dizayn Departmanı Alan Yöneticisi Sn. Fevzi Uğur Ötenkuş, Laboratuvar Departmanı Alan Yöneticisi Sn. Mehmet Ersin Öztürk ve Ürün Geliştirme Mühendisi Sn. Tahsin Yasin Ay'a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca testler konusunda desteğini aldığım AR-GE laboratuvar departmanı çalışanlarına da teşekkür ederim.

Son olarak her zaman ve her koşulda yanımda olan, bu süreçte de desteklerini ve inançlarını hissettiğim canım aileme ve arkadaşlarıma minnetlerimi sunarım.

Mayıs 2015

Onur Ataş
(Makina Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. ÇAMAŞIR MAKİNESİ HAKKINDA TEKNİK BİLGİLER.....	5
2.1 Çamaşır Makinelerinin Çeşitleri	5
2.1.1 Mini çamaşır makineleri ve çalışma prensibi	5
2.1.2 Şanzımanlı (Merdaneli) çamaşır makineleri ve çalışma prensibi	6
2.1.3 Otomatik çamaşır makineleri ve çalışma prensibi	7
2.1.4 Tam otomatik (Dijital) çamaşır makineleri ve çalışma prensibi.....	9
2.1.5 Endüstriyel çamaşır makineleri ve çalışma prensibi.....	10
2.2 Çamaşır Makinesi Parçaları.....	11
2.2.1 Osilasyon grubu	11
2.2.1.1 Kazan	11
2.2.1.2 Beton ağırlıklar	11
2.2.1.3 Tambur	12
2.2.1.4 Tambur yıldızı.....	13
2.2.1.5 Perdeler	13
2.2.1.6 Kasnak.....	14
2.2.1.7 Kayış	15
2.2.1.8 Elektrik motoru	15
2.2.1.9 Amortisör	16
2.2.1.10 Conta	16
2.2.1.11 Yaylar.....	17
2.2.2 Gövde ve sabitleme grubu parçaları	18
2.2.2.1 Ön kapak	18
2.2.2.2 Kapı emniyeti kilidi.....	18
2.2.2.3 Menteşe	19
2.2.2.4 Transport parçası	20
2.2.2.5 Paneller.....	20
2.2.3 Su ve elektrik-elektronik grubu parçaları.....	21
2.2.3.1 Deterjan kutusu	21
2.2.3.2 Su giriş hortumları.....	22
2.2.3.3 Filtre	22
2.2.3.4 Tahliye hortumu	23

2.2.3.5 Su seviye anahtarı	23
2.2.3.6 Program cihazı	23
2.2.3.7 Dijital ön panel	24
2.2.3.8 Hız ve kontrol ünitesi	24
2.2.3.9 Pompa motoru	25
2.2.3.10 Selenoid valf	25
2.2.3.11 Rezistans.....	26
2.2.3.12 Takojeneratör	26
2.2.3.13 Parazit kondansatörü	27
2.2.2.14 Termostat	27
3. SAC ŞEKİLLENDİRME.....	29
3.1 Sac Plaka Üretimi	30
3.2 Sacların Şekillendirilmesini Etkileyen Faktörler.....	31
3.2.1 İşlem değişkenleri	31
3.2.2 Malzeme değişkenleri	32
3.3 Sac Şekillendirme Yöntemleri.....	33
3.3.1 Kesme.....	33
3.3.2 Bükme ve kıvrırma	33
3.3.3 Derin çekme	34
3.3.4 Doğrultma.....	35
3.3.5 Germe	36
3.3.6 Sıvama.....	36
3.4 Sac Şekillendirme Makineleri	37
3.4.1 Abkant pres	37
3.4.2 Hidroli pres.....	37
3.4.3 Giyotin makas	38
3.4.4 Silindir makinesi	38
3.4 Sac Şekillendirme İşlemlerinde Görülen Hatalar	39
4. SONLU ELEMENLAR METODU.	41
4.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Tarihçesi	42
4.2 Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulama Alanları	43
4.3 Sonlu Elemanlar Metodunun Avantaj ve Sınırları	44
4.4 Sonlu Elemanlar Metodunun Problemlere Uygulama Aşamaları	45
4.5 Sonlu Elemanlar Metodu Eleman Tipleri.....	47
4.6 Sonlu Elemanlar Metodunda Paket Program Kullanımı	48
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	51
5.1 Malzeme	51
5.1.1 Paslanmaz çelik hakkında genel bilgiler	51
5.1.2 Ferritik paslanmaz çelikler	52
5.1.3 AISI 430 çeliği	54
5.1.4 Tamburun üretimi.....	55
5.2 Dengesiz Yük Testi	57
5.3 Problemin Tanımlanması	58
5.4 Kalıp Çalışmaları	59
5.5 Kalınlık Parametresinin Değiştirilmesi	62
5.6 Sonuçların Karşılaştırılması	63
6. SONLU ELEMENLAR YÖNTEMİ YARDIMI İLE ANALİZLER	65
6.1 ANSYS 15.0 Workbench programının çalıştırılması.....	65
6.2 Malzeme Özelliklerinin Atanması.....	67
6.3 Geometrinin ANSYS Yazılımına Aktarımı.....	69

6.4 Modelinin Oluşturulması.....	70
6.5 Çözüm ve Sonuçlar	73
6.5.1 Kalınlık değeri 0.5 mm olan tamburun analiz sonuçları	74
6.5.2 Kalınlık değeri 0.4 mm olan tamburun analiz sonuçları	77
6.5.3 Perdelerin büküm ile elde edildiği tamburun analiz sonuçları	79
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	83
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	90

KISALTMALAR

PTC	: Positive Temperature Coefficient
IF	: Interstitial Free
SEM	: Sonlu Elemanlar Metodu
CAD	: Computer Aided Design
AISI	: American Iron and Steel Institute
DIN	: Deutsche Institut für Normung
JIS	: Japanese Industrial Standarts

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1 : AISI 430 çeliğinin kimyasal kompozisyonu.	54
Çizelge 5.2 : AISI 430 çeliğinin mekanik özellikleri.	54
Çizelge 5.3 : AISI 430 çeliğinin fiziksel özellikleri	54
Çizelge 5.4 : AISI 430 çeliğinin diğer ülke normları.	54
Çizelge 5.5 : Test varyasyonlarının karşılaştırılması	63
Çizelge 6.1 : Polipropilen mekanik özellikleri.	68
Çizelge 6.2 : Kurşun malzeme ve mekanik özellikleri.	69
Çizelge 6.3 : Tamburda farklı eleman boylarında oluşan genel değerler.	76
Çizelge 7.1 : Tasarımların karşılaştırılması.	84

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Mini çamaşır makinesi .	6
Şekil 2.2 : Şanzımanlı (Merdaneli) çamaşır makinesi.	7
Şekil 2.3 : Otomatik çamaşır makinesi.	8
Şekil 2.4 : Tam otomatik (Dijital) çamaşır makinesi.	9
Şekil 2.5 : Endüstriyel çamaşır makinesi.	10
Şekil 2.6 : Kazan	11
Şekil 2.7 : Osilasyon grubunda konumlandırılmış beton ağırlıklar.	12
Şekil 2.8 : Tambur.	12
Şekil 2.9 : Tambur yıldızı.	13
Şekil 2.10 : Tambur çevre sacı üzerinde bulunan plastik perdeler.	13
Şekil 2.11 : Tambur çevre sacından bükülerek elde edilen perdeler.	14
Şekil 2.12 : Kasnak.	14
Şekil 2.13 : Kayış.	15
Şekil 2.14 : Elektrik motoru.	15
Şekil 2.15 : Amortisör	16
Şekil 2.16 : Conta	16
Şekil 2.17 : Yaylar.	17
Şekil 2.18 : Osilasyon grubu genel görüntü.	17
Şekil 2.19 : Ön kapak.	18
Şekil 2.20 : Kapı emniyeti kilidi.	19
Şekil 2.21 : Menteşe.	19
Şekil 2.22 : Transport parçası.	20
Şekil 2.23 : Ön, arka ve yan paneller.	21
Şekil 2.24 : Deterjan kutusu.	21
Şekil 2.25 : Su giriş hortumları.	22
Şekil 2.26 : Filtre.	22
Şekil 2.27 : Su seviye anahtarı	23
Şekil 2.28 : Dijital ön panel.	24
Şekil 2.29 : Hız ve kontrol ünitesi.	24
Şekil 2.30 : Pompa motoru	25
Şekil 2.31 : Selenoid valf.	25
Şekil 2.32 : Rezistans.	26
Şekil 2.33 : Takojeneratör.	26
Şekil 2.34 : Parazit kondansatörü.	27
Şekil 2.35 : Termostat.	27
Şekil 3.1 : Haddelme işlemi sonucu oluşan ürünler.	30
Şekil 3.2 : Şematik sac kesme kalıbı.	33
Şekil 3.3 : Çeşitli bükme işlemleri.	34
Şekil 3.4a : Sacın pot ile dış arasında tutulması	34
Şekil 3.4b : Form verme başlangıcı	35

Şekil 3.4c : Form sonu	35
Şekil 3.5 : Germe işleminin şematik gösterimi.....	36
Şekil 3.6 : Geleneksel sıvama.....	36
Şekil 3.7 : Abkant pres.....	37
Şekil 3.8 : Hidrolik pres	37
Şekil 3.9 : Giyotin makas.....	38
Şekil 3.10 : Hidrolik silindir makinesi.....	38
Şekil 4.1 : Bir sonlu eleman modelinde nod noktaları ve elemanlar.	42
Şekil 4.2 : Bir boyutlu bir sonlu eleman.	47
Şekil 4.3 : Üçgen tipli sonlu eleman örneği.....	47
Şekil 4.4 : İki boyutlu değişik dörtgen geometri biçimli sonlu elemanlar.....	48
Şekil 4.5 : Üç boyutlu elemanlar.	48
Şekil 4.6 : Geometrik model, SEM ve sonuçların gösterildiği nodal sonuçlar.....	49
Şekil 5.1 : Rulo yükleme işleminin gerçekleşmesi	55
Şekil 5.2 : Doğrultma işleminin gerçekleşmesi	56
Şekil 5.3 : Derin çekme ve kesme işleminin gerçekleştiği kalıplar	56
Şekil 5.4 : Dengesiz yük testi bilgisayar ara yüzü.	57
Şekil 5.5 : Dengesiz yük testi sonucu görülebilen dalgalanmalar.	58
Şekil 5.6 : Dengesiz yük testi sonucu oluşan yırtıklar.....	58
Şekil 5.7 : Kalıp düzeneği şematik gösterimi.	59
Şekil 5.8 : Üst kalıp eski ve yeni hali	60
Şekil 5.9 : Alt kalıp eski ve yeni hali.....	60
Şekil 5.10 : Merkezleme pimlerinin kullanımını ile üretilen arka sac numunesi	61
Şekil 5.11 : Dengesiz yük testi sonucu % 70.7’de görülen yırtılma.....	61
Şekil 5.12 : 0.5 mm kalınlık ile üretilen tambur numunesi.....	62
Şekil 5.13 : Çalışılan bölgede dengesiz yük testinin ardından oluşan son durum.	62
Şekil 6.1 : Workbench 15.0 programının çalıştırılması.	65
Şekil 6.2 : Static structural modu.....	66
Şekil 6.3 : Malzeme özelliklerinin girildiği arayüz	67
Şekil 6.4 : Geometrinin ANSYS’e aktarılması.....	69
Şekil 6.5 : Malzeme özelliklerinin geometriye atanması.....	70
Şekil 6.6 : Kontakların belirlenmesi	70
Şekil 6.7 : Yeni koordinat merkezinin oluşturulması	71
Şekil 6.8 : 10 mm eleman boyuna sahip mesh yapısının oluşturulması	72
Şekil 6.9 : Dönüş hızının eksene göre girilmesi	73
Şekil 6.10 : Analiz sonrası görüntülenmesi istenen değerlerin seçimi.	74
Şekil 6.11 : 0.5 mm kalınlıklı tamburun gerilme değerleri.....	75
Şekil 6.12 : 0.5 mm kalınlıklı tamburun deformasyon değerleri	75
Şekil 6.13 : Düğüm ve eleman sayısının görüntülenmesi (0.5 mm).....	76
Şekil 6.14 : 0.4 mm kalınlıklı tamburun gerilme değerleri.....	77
Şekil 6.15 : 0.4 mm kalınlıklı tamburun deformasyon değerleri	78
Şekil 6.16 : Düğüm ve eleman sayısının görüntülenmesi (0.4 mm).....	78
Şekil 6.17 : Tasarımın ağ örgüsü ve düğüm-eleman sayısı	79
Şekil 6.18 : Tasarımda gerilme analizinin görüntülenmesi	80
Şekil 6.19 : Arka sac üzerinde gerilme dağılımı.....	80
Şekil 6.20 : Tasarımda deformasyonların görüntülenmesi	81
Şekil 6.21 : Arka sac üzerinde deformasyon dağılımı	81

SEMBOL LİSTESİ

σ	: Normal gerilme
K	: Rijitlik matrisi
ϵ	: Birim uzama
n	: Pekleşme üsteli
D	: Büyüklük alanının nodlardaki bilinmeyen değerlerini gösteren vektör
R	: Bilinen yük vektörü
d	: Öz kütle
m	: Kütle
v	: Hacim

ÇAMAŞIR MAKİNESİ TAMBUR ARKA SAC TASARIMI

ÖZET

Modern yaşamda teknolojinin geldiği noktayla beraber özellikle büyük yerleşim bölgelerinde yaşayan insanların hayatı oldukça kolaylaştı. Bu durumu oluşturan sebeplerin başında ise beyaz eşya sektörünün varlığı gelmektedir. Çamaşır makinesi, fırın, bulaşık makinesi, buzdolabı ve küçük ev aletleri gibi makineler sayesinde gündelik veya haftalık yapılması gereken rutin işler daha kısa zamanlarda ve daha az insan emeği ile gerçekleştirilebilmektedir. Bunların yanından oluşan hizmet kalitesi, yoğun insan emeği gerektiren, geleneksel yöntemlerden daha iyidir.

Beyaz eşya sektörünün sağladığı bu avantajlar sayesinde sektörün boyutu oldukça önemli bir büyüklüğe ulaşmıştır ve bu durum firmalar arasındaki rekabet koşullarının daha da çetin bir hale gelmesine sebebiyet vermiştir. Firmalar oluşan rekabet kapsamında tüketicilere ürünlerini en ucuz şekilde sunarak avantajlı konuma geçmeyi hedef edinmişlerdir. Üretim maliyetlerinin düşmesiyle beraber kalitenin de korunması gerekmektedir. Ürün kalitesinin seviyesinin yüksek olması tüketicinin gözünde firmanın itibarının artmasını sağlayacaktır. Bu kapsamda bir çamaşır makinesinden beklenen özellikler çamaşırı temiz yıkamasının yanında, makine parçalarının seyrek arıza vermesi ve ürün ömrünün uzun olmasıdır.

Çamaşır makinesinin en önemli parçalarının başında tambur gelmektedir. Yıkama işleminin gerçekleştiği bölüm olan tamburun makinenin çalıştığı zaman boyunca mekanik anlamda problemler oluşturmaması gerekmektedir.

Bu tez kapsamında tambur arka sacında oluşan problemler irdelenmiş olup, söz konusu problemlerin giderilmesi ve tambur arka sacının ömrünün uzatılması amaçlanmıştır.

Çalışmada ilk bölümde çamaşır makinesinin tarihsel gelişimi ve şu an ki durumundan bahsedilmiştir. Literatür çalışmaları ve çamaşır yıkama prosesi de bu bölüm içerisinde yer almaktadır.

İkinci bölüm çerçevesinde çamaşır makinesi çeşitleri ele alınmış olup, söz konusu çeşitlerin çalışma prensipleri incelenmiştir. Bunların yanında çamaşır makinesini oluşturan temel parça grupları hakkında teknik bilgiler verilmiştir.

Üçüncü ve dördüncü bölümlerde ise çalışmanın teorik anlamda temelini oluşturan sac şekillendirme ve sonlu elemanlar metodu hakkında bilgi verilmiş olup, iki konu detaylıca incelenmeye çalışılmıştır.

Tez çalışmasının beşinci bölümü deneysel işlemleri içermektedir. Öncelikle tambur malzemesi olan AISI 430 çeliği tanıtılmıştır. Ardından tamburun fabrika içerisindeki üretim prosesi alınan görüntülerle anlatılmıştır. Tambur hakkında bilgilerin verilmesiyle beraber dengesiz yük testine geçilmiş olup deneyin nasıl yapıldığı ve varmak istediği sonuçlardan bahsedilmiştir. Bu işlemten sonra problem tanıtılmış olup ortaya çözüm önerileri sunulmuş ve bu önerilerin deney sonuçları verilmiştir.

Altıncı bölümde SOLIDWORKS programında modellenen basitleştirilmiş tambur çizimi ANSYS Workbench programına entegre edilip, sonlu elemanlar yöntemiyle analizi üzerinde durulmuştur. Malzeme ve kalınlık parametrelerinin tamburun mekanik özelliklerine olan etkisi söz konusu analiz ile ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Son olarak da sonuçlar yorumlanmış ve tamburun çamaşır makinesindeki görevini hangi şartlarda daha iyi yerine getirebileceği üzerine çıkarımlar yapılmıştır.

WASHING MACHINE DRUM REAR PLATE DESIGN

SUMMARY

A washing machine performs the job of cleaning laundry, such as clothing, sheets, towels etc. In most cases, we use this term for machines that use water as the primary cleaning solution. The process of dry cleaning, on the other hand, involves the use of alternative cleaning fluids and is mainly used for commercial purposes. The washing machine has come a long way and passed through several phases since the first patent under the category of Washing and Wringing Machine was issued in America in 1860.

Modern washing machines are mainly found in two categories: top loading and front loading. The front-loading or horizontal-axis clothes washer is the dominant design in Europe, the Middle East, Asia, Africa, and much of the rest of the world. In the U.S. and elsewhere, most "high-end" washing machines are of this type. In addition, most commercial and industrial clothes washers around the world are of the horizontal-axis design.

This layout mounts the inner basket and outer tub horizontally, and loading is through a door at the front of the machine. The door often but not always contains a transparent window. Agitation is supplied by the back-and-forth rotation of the cylinder and by gravity. The clothes are lifted up by paddles on the inside wall of the drum and then dropped. This motion flexes the weave of the fabric and forces water and detergent solution through the clothes load. Because the wash action does not require the clothing be freely suspended in water, only enough water is needed to moisten the fabric. Because less water is required, front-loaders typically use less soap, and the repeated dropping and folding action of the tumbling can easily produce large amounts of foam or suds.

Many parts of a washing machine are manufactured from sheet steel, usually coated with zinc to improve rust resistance. The steel manufacturer supplies the metal in a coil, which allows the material to be cut to size with minimum waste or automatically fed into the forming process.

Many other parts are plastic as well. Manufacturers receive raw plastic from which they fabricate parts in pieces about the size of a small ant, using them for machine components that do not bear weight and/or require extremely good rust resistance. Such parts include the pump, the tub guards (which prevent your clothes from being thrown out of the spin tub into the wash tub or the cabinet area), and the agitator.

The manufacturing process is split into fabrication (making parts), sub-assembly (putting parts together to make components), and assembly (putting the components together to form the final product). The fabrication process comprises several different procedures, each specific to a particular type of raw material, sheet metal, plastic, or aluminum.

Once the constituent parts have been made, they are assembled; major sub-assemblies, or components, include the transmission, the pump, the spin and wash tubs, the balance ring, and the painted parts. Finally, the sub-assemblies are put together inside the shell of the washer, which is then complete.

All parts purchased from outside manufacturers are spot checked before use, and most sub-assemblies are checked as well. For instance, all transmissions are automatically tested for operation, noise, and vibration. All painted parts are visually inspected for defects. All pumps are leak-tested using air, automatically if their assembly was automated and manually if it was manual. Daily samples are put in detergent, bleach, and steam baths for corrosion testing. Once it has been completely assembled, the machine is filled with water and tested for noise, vibration, and visual defects, as well as properly functional controls and mechanisms

With the increasing competition conditions, companies are working to offer their products to consumers by the cheapest way. Protection of quality is required with the falling production costs. Increase of quality provides that reputation of the company will increase on the user's eye. At the same time, maintenance costs will decrease. This situation also applies to washing machines.

Washing clothes in the clearest manner is expected from a high quality washing machine. Also the infrequency of need for maintenance is expected.

In this sense drum is a critical part for washing machine. Drums are one of the essential parts of washing machines. The strength and dynamic behavior of drums should be ensured for the safe washing machine operation. Drum rear plate high stress problems form the basis of this study.

In first chapter of this study, a general information about the washing machine history and current situation. Moreover this chapter includes washing process and literature research.

In this study secondly, the literature about washing machines types has been described and it has been given detailed information about how to works.

Third chapter related with sheet metal forming. This chapter includes sheet metal production, transaction specific factors, methods and machines of sheet metal forming. In addition to all these which failures are shown in sheet metal forming mentioned on this section.

In the fourth chapter of this study, a general information about the finite element method is given and Ansys software, as a finite element method analysis software is introduced. Each step of the analysis are explained and some informations about element types.

In the fifth chapter, primarily the experiment will be used as the material has been introduced. This material is AISI 430 stainless steel. After that multi phase test has been described with details. Drum rear sheet waves and tearing problems has been shown with photos and start to focus on how the problem can be solved. Deep drawing tool modifications and increase of thickness is a solution offers. Lastly, this offers has been tried on multi phase test.

In sixth chapter of this study, simplified drum was modelled on SOLIDWORKS design package program which is one of the most common design programs for designers. For the design of the drum, usage of three paddle, one unbalanced load was decided.

Material properties, contact regions, mesh progress and structural things (fixed support points, rotational velocity etc.) has been done and model was solved on ANSYS Workbench 15.0.7.

With this study, the effect of material type, thickness and tool modification on drum rear plate has been observed with multi phase test and finite element methods.

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında insanların hayatlarının kolaylaştırılması adına çamaşır makinesinden fırına kadar pek çok beyaz eşya evlerde yerlerini almıştır. Çamaşır makinesi sağladığı konfor ile gündelik hayatın vazgeçilmez bir ürünü olmuştur. Üreticilerin, beyaz eşya piyasasında yer edinebilmeleri için yıkama kalitesi, enerji ve su verimi yüksek, maliyeti düşük, güvenilir çamaşır makineleri üretmeleri gereklidir. Bununla beraber sektörde rekabet seviyesi oldukça yükseklerle çıkmış, firmalar AR-GE faaliyetleri ile rakiplerine karşı üstünlük kurma çalışmasına girmişlerdir. Yapılan çalışmaların çoğu ise ticari kaygılar ile yayınlanamamıştır.

Çamaşır makinesinin tarihsel gelişimini inceleyecek olursak; 1860'da Hamilton E. Smith, ilk mekanik çamaşır yıkama cihazının patentini almıştır. Tasarlanan ilk çamaşır makineleri büyük bir kutu biçimindeki tekne içinde dönen çarklardan oluşmaktadır. Teknenin yanındaki kol elle çevrildiği zaman içindeki çarklar da dönerek sudaki çamaşırları karıştırmakta, kirlerini akıtmakta idi. Ancak bu makineler kullanım pratikliği açısından başarısız örneklerdir [1].

1908'de, Amerikan bilim adamı A.J. Fisher elektrik motoru ile çalışan bir makine geliştirmiştir. İlk motorlu çamaşır makinelerinin çoğunda teknenin ortasına hem yukarı-aşağı hem de sağa-sola hareket eden bir malle tutturulmuş karıştırıcı, çamaşırları da çevirerek sabunlu suyun aralarından geçmesini sağlamak ve çamaşırları bu şekilde yıkamaktaydı [2].

Yüzyılın ortalarında Whirlpool firması karıştırıcıyı teknenin iç kenarına yerleştirmiş, bir pervane hızıyla dönen karıştırıcının çamaşırlara değmeksizin yalnızca suyu şiddetle karıştırarak, su içinde alabora olan çamaşırların yıkanmasını sağlamıştır. Bu teknoloji, teknik özellikleri son derece gelişmiş günümüz otomatik çamaşır makinelerinin ilk örneğidir [3].

Otomatik çamaşır makineleri bu hızlı dönüşle çamaşırları yıkamakla kalmayıp çamaşırların suyunu sıkarak, merkezkaç gücüyle sularını kaybedip kısa süreli havalandırmadan sonra çamaşırları ütülenebilecek duruma getirir [3].

1990'ların sonlarında ise İngiliz mucit James Dyson, zıt yönlerde dönen iki silindirli çamaşır makinesini tasarlamış ve piyasaya sunmuştur. Söz konusu makine ile ilgili, yıkama süresini azalttığı ve yıkama performansının üst düzeyde olduğu iddiası ortaya konulmuştur [4].

Günümüze geldiğimizde ise teknolojinin her geçen gün gelişmesi ile çamaşır makinelerine bir çok özellik eklenmiş olup, ortaya çıkarılan yeni fonksiyonların bazıları şunlardır; çocuk kilidi, erteleme programı, kalan süre göstergesi, buhar, çevirici motorlar, yıkama devri süresince çıkan sesi azaltan fırçasız motorlar, jet sistem (buhar deliğine yerleştirilen ve devralınan suyu çamaşırlara püskürten bir püskürtücü ile çalışan yeniden dolaşım pompası), daha geniş hazne kapasitesi, direct drive motorlar.

Çamaşır yıkama prosesini kısaca inceleyecek olursak; çamaşır makinesinin doğrudan etki ettiği faktörler mekanik hareket ve alınan su miktarıdır. Makineye yerleştirilecek olan çamaşırın cinsi, kiri ve deterjan çamaşır makinesinin müdahalesinin mümkün olmadığı faktörlerdir. Önden yüklemeli çamaşır makinelerinin yıkama adımlarında makinenin yaptığı mekanik hareketler birbirine çok benzemektedir. Belirli sürelerle, seçilen programa göre saat yönünde ve saatin tersi yönünde çamaşır makinesinin tamburu belirlenen hızlarda döner. Yıkama sırasında amaç çamaşırı tamburun tepe noktasına kadar çıkarıp düşürmektir. Bu hareket çamaşırdaki kirin sökülmesine büyük katkı yapar [5].

Çamaşır makinesi ile ilgili literatür araştırmasında aşağıdaki veriler tespit edilmiştir; Şibar (1975) yıkama işlemi ve çamaşır makinesi parçalarının boyutlarının belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Bu çalışma aynı zamanda temel üretim fizibilitesi konusunu da kapsamaktadır.

Türkay (1992) önden yüklemeli çamaşır makinesinin süspansiyon sisteminin modellenmesi üzerine çalışmıştır.

Conrad'ın (1994) çalışması çamaşır makinesi tasarımındaki dinamik sınır koşullarını kapsamaktadır.

Wagner (2000) çamaşır makinesinin dinamik davranımını içeren bir matematiksel model üzerinde çalışmıştır. Aynı yıl Cui çamaşır makinesi yapısal tasarımı üzerine sonlu elemanlar yöntemi ile bir çalışma gerçekleştirmiştir.

Bae (2002) hidrolik dengeleyicili otomatik çamaşır makinesinin titreşim karakteristiği üzerine çalışmasını gerçekleştirmiştir.

Erdim (2007) nden yüklemeli otomatik çamaşır makinesi tamburunun dinamik modellenmesi ve sonlu elemanlar yöntemi ile analizi konusunda çalışmıştır.

Türk (2010) yaptığı çalışmada, çamaşır makinesinde çamaşır yükünün kestirimi üzerine değerlendirmelerde bulunmuştur.

Doğu (2014) tambur imalatında kullanılan elik sacların şekil alma kabiliyetini inceleyerek bu alanda daha verimli malzemelerin kullanılması üzerinde çalışma gerçekleştirmiştir.

Bu çalışmada, tambur arka sacı üzerinde durulmuştur. Tambur arka sacında oluşan yüksek gerilmeler ile beraber ortaya çıkan problemlerin giderilip, tambur ömrünün uzatılması amaçlanmıştır. Bu çerçevede farklı uygulamalar devreye alınmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile oluşan gerilmelerin koordinatları ve değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca fabrika ortamında ortaya çıkan problem net bir şekilde gözlemlenmiştir. Bu çerçevede kalıp çalışmaları, kalınlık parametresi üzerinde değişiklikler, tambur üzerinde testler ve yeni uygulamalara uygun analizler gerçekleştirilmiştir.

2. ÇAMAŞIR MAKİNESİ HAKKINDA TEKNİK BİLGİLER

2.1. Çamaşır Makinelerinin Çeşitleri

Temel olarak çamaşır makineleri üstten ve önden yüklemeli olarak ikiye ayrılmaktadır.

Üstten yüklemeli çamaşır makineleri Avustralya, Kanada, ABD ve Latin Amerika ülkelerinde yaygın olup, kullanım pratikliği, bakım problemlerinin daha az olması, yıkama devrini daha hızlı tamamlaması gibi avantajlara sahiptir. Bunun yanında dezavantajları arasında ise kurutma makinelerinin montajının zor gerçekleşmesi, fazla enerji ihtiyacı, çamaşırların yıpranması gibi problemler vardır.

Önden yüklemeli çamaşır makineleri ise daha çok Avrupa ve Ortadoğu ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip makinelerin; su ve deterjan kullanımının azlığı, yıkama işleminin verimli gerçekleşmesi, mekanik açıdan basit olması gibi artıları vardır. Eksileri arasından ise en fazla göze çarpan husus bakım ihtiyacının sık olmasıdır. Söz konusu bakım ihtiyacı müşteriler açısından pazarda en fazla üzerinde durulan hususların başında gelmektedir.

Çalışma prensiplerine göre ise çamaşır makinesi çeşitlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Mini çamaşır (yayık) makineleri
- Şanzımanlı (merdaneli) çamaşır makineleri
- Otomatik çamaşır makineleri
- Tam otomatik (dijital) çamaşır makineleri
- Endüstriyel çamaşır makineleri

2.1.1. Mini çamaşır makineleri ve çalışma prensibi

İçerisinde bir fazlı motorların kumanda ettiği pervane bulunur. Pervanenin suyu döndürmesi ile çamaşırlar yıkanır. Bazı makineler de pervane tek ve çift yönlü dönebilmektedir [6].

Bu makinelerde genellikle kazan içine kaynatılmış su konur. Mini çamaşır makinesi, çamaşırı yıkadıktan sonra fişkırtma hortumu yere bırakılmak sureti ile kirli su dışarıya atılır. Ayrıca suyu atmak için bir düzenek yoktur. Sonra tekrar hortumun ağzı yukarı da tutulmalıdır. Yoksa kazan içine konulan durulama suyu dışarıya akar.

Yıkanan çamaşırı durulamak için dışarıdan tekrar elle soğuk su konur durulama yaptıktan sonra sıkma işlemine geçilir. Kol kuvvet ile merdaneye tutturulan çamaşır merdane kolu çevrilmek sureti ile sıkma işlemi yapılır. Sıkmanın daha iyi olması, merdane üzerindeki sıkıcı ayar vidası ile ayarlanır.

Mini çamaşır makineleri arızaları; motora bağlı olan kondansatör arızası ve motor direk kazana bağlı olduğu için zamanla kazandan motora su girebilir [6].



Şekil 2.1 : Mini çamaşır makinesi.

2.1.2. Şanzımanlı (Merdaneli) çamaşır makineleri ve çalışma prensibi

Şanzımanlı (merdaneli) çamaşır makineleri günümüzde yerlerini otomatik çamaşır makinelerine bırakmış olup, özellikle 70’li ve 80’li yıllarda popüler olan bir çamaşır makinesi çeşididir. Piyasada bulunan şanzımanlı çamaşır makineleri yapısını inceleyecek olursak, mini makinelerinin biraz daha geliştirilmiştir. Bu tip makinelerde bir fazlı motor kayış kasnak yardımı ile pervaneyi kumanda eder. Pervane sağa ve sola motor yardımı ile döndürülerek çamaşırlar yıkanır. Yine bu makinelerde de çamaşır yıkamak için kişi makineye komutları kendisi verir.

- Sıcak suyu dışarıdan kişi koyar.
- Soğuk suyu dışarıdan kişi koyar.
- Merdaneye çamaşırı elle verilir.
- Deterjan kazana elle atılır.

- Kirli suyun dışarı atılması için,pompa motorun düğmesi elle çevrilir.

Mini makinelerden farklı olarak çamaşır yıkandıktan sonra kazandaki kirli suyu kazan dibindeki delikten pompa motoru yardımı ile boşaltır. Merdaneyi mini çamaşır makinesindeki gibi elle çevirmeye gerek yoktur. Merdaneleri, dişliler yardımı ile motor çevirir. Kullanımı mini makinelere göre biraz daha rahattır. Sıkma işlemi motor tarafından yapıldığı için çevirme gücü yüksektir. Bunun için çamaşırı elle verilirken dikkat edilmelidir. Merdaneye parmaklar sıkışabilir. Böyle bir durumdan kurtulmak için merdane önüne emniyet çubukları konulmuştur. Arızaları mini makine ile aynıdır [6].



Şekil 2.2 : Şanzımanlı (Merdaneli) çamaşır makinesi

2.1.3 Otomatik çamaşır makineleri ve çalışma prensibi

Otomatik çamaşır makineleri, çamaşırı makine içine koyup çamaşırın özelliğine göre program seçimi ve sıcaklık ayar düğmesini ayarladıktan sonra geri kalan diğer işlemleri makine kendisi yapan makinelerdir.

- Suyu otomatik olarak alır.
- Çamaşıra uygun (cinsine, dokusuna ve kirlilik miktarına göre) programı kişi seçer. Çamaşıra uygun sıcaklık ayarını termostat düğmesinden kişi ayarlar.
- Deterjan çekmecesine deterjan ve yumuşatıcı konur.
- Kişi açma-kapama düğmesine bastıktan sonra başka bir işleme gerek yoktur.

Çalışması: Makine fişi prize takılır. Elektrik, parazit kondansatörün üzerinden açma-kapama anahtarına gelir. Anahtara basıldığında enerji program cihazından geçerek kapı emniyet kilidine gelir. Kapı kapatılınca enerji buradan su seviye anahtarının kapalı kontağından geçerek, su giriş ventil bobinlerini enerjileyerek suyun musluktan içeriye girmesi sağlanır. Su, elektrikli musluktan, deterjan kutusundan deterjanı alarak kazana dolmaya başlar. Su, su seviye anahtarının kontrolünde dolar. Yeterli suya ulaşıldıktan sonra su seviye anahtarının kapalı kontağı açılarak su giriş ventillerinin enerjisini keser ve makinenin su alması durur. Enerji, su seviye anahtarından program aygıtı üzerinden hız kontrol ünitesi ve yıkama motoruna gelir. Yıkama motoru çalışır. Kayış kasnak tertibatı ile motor tamburu döndürür. Çamaşırlar yıkanmaya başlar. Enerji diğer taraftan rezistansa gelerek su ısınmaya başlar. Su istenen derecede ısındığında termostat ısıtıcının enerjisini keser. Su ısınmasında geçen sürede işlemler durur. Yıkama işlemi bittikten sonra program cihazı pompa motoruna enerji gönderir. Pompa motoru kirli suyu dışarı atar. Program cihazı tekrar tekrar enerji göndererek musluktan durulama suyunu alması sağlar. Program cihazı bu işlemi seçilen programın özelliğine göre tekrarlar. Program cihazı son olarak yumuşatıcı ile birlikte kazana su alır. Bu su, yumuşatıcı suyudur. Çamaşırı yumuşatma işlemi de bittikten sonra sıkma işlemi başlar. Tambur, motor tarafından sıkma devrinde döndürülür. Bu sırada pompa motoru çalışarak suyu dışarı atar. Otomatik çamaşır makinesinin otomatik olarak çalışan elektrikli parçaları ve mekanik parçaları çok olduğu için arızaları da diğer makinelere göre fazla ve çeşitlidir [6].



Şekil 2.3 : Otomatik çamaşır makinesi

2.1.4. Tam otomatik (Dijital) amaşır makineleri ve çalışma prensibi

Tam otomatik çamaşır makineleri, yıkama suyu ve deterjanı kendisi alır, suyu ısıtıp çamaşır el değmeden yıkar, durulayıp sıkar, bazı modeller ise sıkması yapılan çamaşır kurutur. Yapısı genellikle otomatik çamaşır makinesi ile aynıdır.

- Gövdede üç yerde topraklama vardır.
- İlk girişte elektronik aksamı korumak için parazit filtresi mevcuttur.
- Filtreden geçen sinyal valflere gider. Su giriş valflerine enerji gelince elektronik kart valflerin açılıp suyun deterjan gözünden tambura ulaşmasını sağlar.
- Belirli miktarda su aldıktan sonra su almayı durduran seviye sensörü mevcuttur.
- Su alınmaya başlandıktan sonra kazandaki basınç artar bu basınç seviye sensörü ile kontrol edilir. İstenilen değere ulaşıldığında seviye switchleri kontak değiştirir ve su alımı durur.
- Rezistans devreye girerek suyun istenilen sıcaklığa ulaşmasını sağlar.
- Program cihazı çamaşırın cinsine, dokusuna ve kirlilik miktarına göre uygun programa alınır. Eğer amaşır makine içine atılan çamaşır için seçilen program haricinde n panel üzerindeki fonksiyon tuşlarından yanlış tuşlama yapılırsa program bunu kabul etmez. Makine çamaşırları yıkar, durular, sıkar ve sıcak hava vererek kurutur.

Makinede meydana gelen değişimleri, aksaklıkları dijital panelden görme imknımız vardır. Yapı olarak hemen hemen otomatik makineler ile aynıdır [6].



şekil 2.4 : Tam otomatik çamaşır makinesi.

2.1.5 Endüstriyel çamaşır makineleri ve çalışma prensibi

Ortalama 5 kg/sefer kapasitesinden başlayarak 300 kg/sefer kapasitesine kadar çeşitli boylardadırlar. Çalışma prensibi açısından otomatik ve tam otomatik olarak çeşitleri bulunmaktadır. Çamaşır yıkama dışında taşlı yıkama, kumaş ağartma ve boyama gibi farklı amaçlarla da kullanılabilirler.

Endüstriyel çamaşır makineleri, ağır bir amortisör cihazının üzerine ya da beton zemine monte edilebilir. Böylece, çamaşır makinesi çok fazla doluyken bile sıkma devrini gerçekleştirebilir. Çamaşırlar yıkandıktan sonra, taşıma bandına kolayca çıkarılabilmeleri amacıyla makine, hidrolik silindirler üzerine yerleştirilebilir. Böylelikle çamaşır makinesi, hem yerden yükseltilmiş olur hem de kolaylıkla hareket ettirilebilir.

Genel olarak endüstriyel tip makineler ile yarı sanayi veya ev tipi makineler arasında bir ekonomik ömür veya çalışma-saat ömür farkı vardır. Bunun için endüstriyel tip makine seçilirken bunun ne kadar zaman kullanılmak istendiği belirtilmeli ve malzeme kalitesi olarak bu amaca uygun makine seçilmelidir [7].



Şekil 2.5 : Endüstriyel çamaşır makinesi

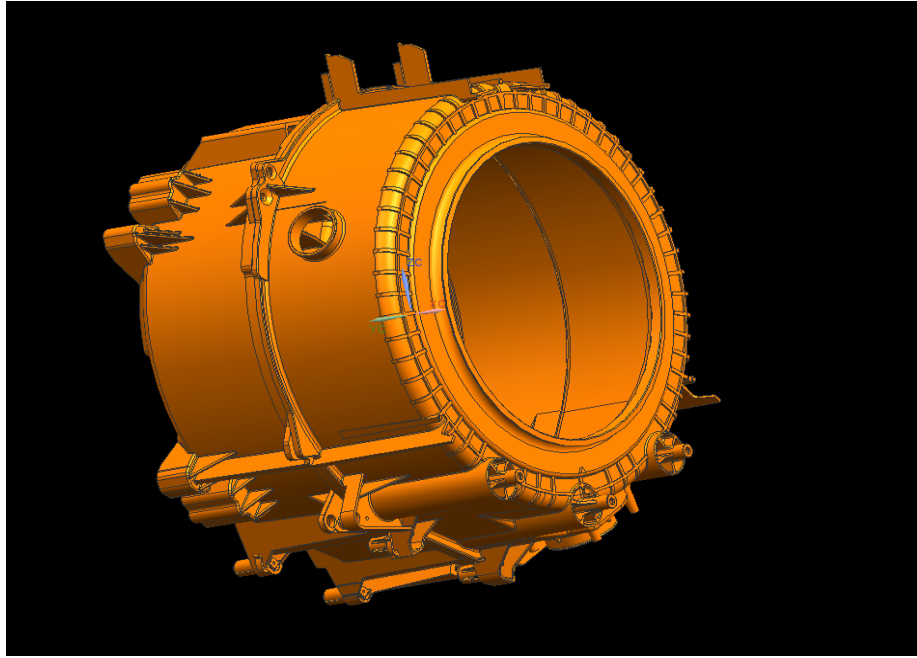
2.2 amaşıır Makinesi Parçaları

2.2.1 Osilasyon grubu

Osilasyon grubu aşığıdaki parçalardan oluşmaktadır.

2.2.1.1 Kazan

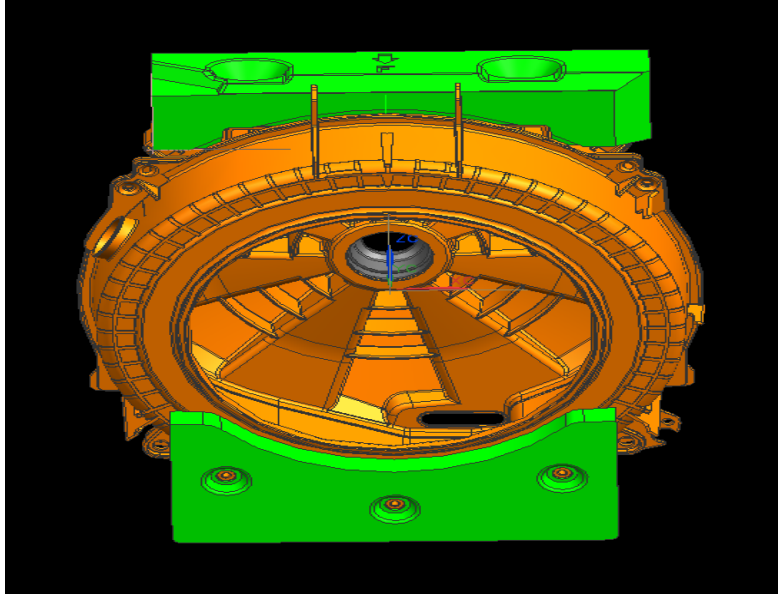
Makine içerisinde yıkama işleminin gerçekleştiğı bölümdür. Yıkama suyu deterjan kutusunun ardından kazana gelerek burada hapsolur, tambur kazan içerisinde dönel hareket gerçekleştirerek içine yerleştirilen amaşıırların karışmasını ve yıkanmasını sağlar. Beton ağırlıklar ve elektrik motoru kazana sabitlenmişlerdir. Kovan arka kazanın ortasına çakılarak yıldız milinin rulmanlarına yataklık eder. Kazan, yaylar ile arka sacına ve amortisörler ile gövdeye bağlanır. İmal malzemesi olarak kazanlarda plastik kullanılmaktadır. Talcum takviyeli polipropilen tercih edilmektedir.



Şekil 2.6 : Kazan

2.2.1.2 Beton ağırlıklar

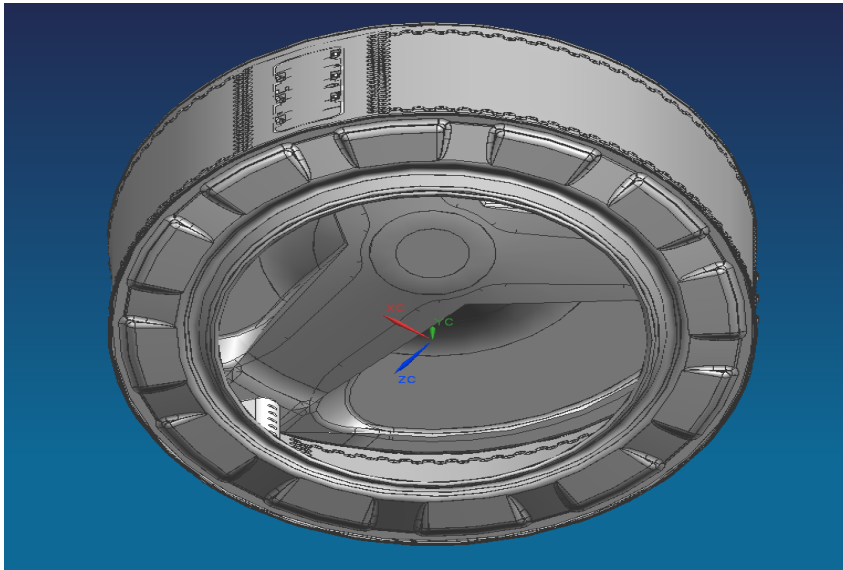
Beton ağırlıkların görevi; sisteme atalet katarak kazan grubunda oluşacak sarsıntıları yani ani ve büyük genlikli hareketleri engellemektir. Malzeme olarak önceleri dökme demirden yapılmış ağırlıklar kullanılsa da son zamanlarda beton ağırlıklar tercih edilmektedir.



Şekil 2.7 : Osilasyon grubunda konumlandırılmış beton ağırlıklar

2.2.1.3 Tambur

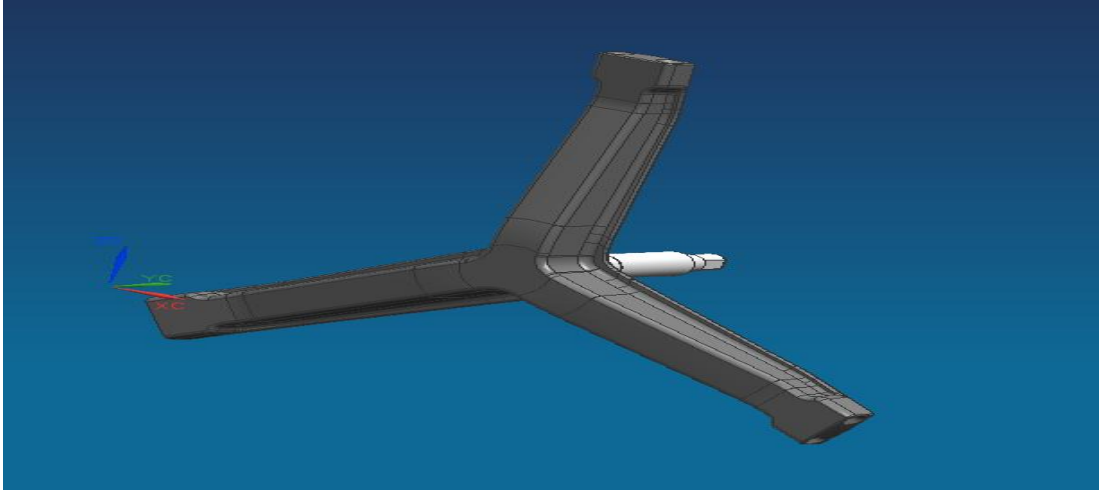
Tambur, kazandaki rulman yuvasına monte edilerek kazan içerisine yerleştirilir. Çamaşırlar tambur içerisine yerleştirilerek yıkama ve sıkma işlemleri boyunca burada kalırlar. Tambur paslanmaz çelik sacın eğilmesi ile üretilir ve üzerinde suyun geçebilmesi delikler bulunmaktadır. Rulmanların su ile temasını önlemek için iki adet keçe konur. Keçenin zamanla özelliğini kaybetmesi ile rulmanlar arızalanır, yıkama suyu içerisine yağ bırakır. Genellikle beyaz çamaşırlarda sararma ve leke ile kendini gösterebilir.



Şekil 2.8 : Tambur

2.2.1.4 Tambur yıldızı

Yıldız tamburun arka kısmında konumlanmış olup kasnak aldığı hareketi tambura iletmektedir. Yıldız mili kazana rulmanlar ile yataklanmaktadır. İmal malzemesi olarak genelde alüminyum tercih edilmektedir.



Şekil 2.9 : Tambur yıldızı

2.2.1.5 Perdeler

Tamburun içinde çevre sacının üzerinde bulunan perdeler, çamaşırların düşey ekseninde konumlarını değiştirerek daha iyi yıkanabilmesini sağlamaktadır. Önceleri tamburun çevre sacından bükülerek ortaya çıkarılan perdelerde son zamanlarda tamburdan bağımsız plastik malzeme ham madde olarak kullanılıp, üretilmeye başlanmıştır.



Şekil 2.10 : Tambur çevre sacı üzerinde bulunan plastik perdeler



Şekil 2.11 : Tambur çevre sacından bükülerek elde edilen perdeler

2.2.1.6 Kasnak

Motordan kayış ile aldığı döndürme momentini yıldız miline aktararak, tamburun ve yıldız milinin dönmesini sağlar. Malzeme olarak genellikle alüminyum tercih edilmektedir.

Son zamanlarda çıkan bazı makinelerde “direct drive” olarak adlandırılan teknoloji ile kasnak kullanımı devre dışı bırakılmıştır. Söz konusu modellerde motor direkt tambur miline bağlıdır. Bu uygulama ile motordan alınacak gücün miktarın arttırılması amaçlanmıştır. Sistemin özel motor, kusursuz kontrol mekanizması, sık arıza durumları gibi dezavantajları bulunmaktadır.



Şekil 2.12 : Kasnak

2.2.1.7 Kayış

Elektrik motorundan aldığı hareketi kasnağa ileten kısımdır. Esnek bir malzeme olduğundan arıza problemleri genelde yaşanmamaktadır. Motor devirlerine göre boyutları değişkenlik gösterebilir. Olası bir kayış değişiminde gerginlik durumunun kontrol edilmesi gerekir.



Şekil 2.13 : Kayış

2.2.1.8 Elektrik motoru

Çamaşır makinelerinde bir fazlı yardımcı sargılı asenkron ya da AC seri (üniversal) motor kullanılmaktadır. Motor mili ve statordan oluşur. Rotor dönerek kayış ile bağlı olduğu kasnağı tahrik eder. Rotor statora rulmanlar ile yataklanmıştır. Çamaşır makinesi yıkama işlemini yaparken çok kutuplu birinci sargılardan akım geçer ve rotor yavaş döner. Sıkma işlemi anında ise iki kutuplu ikinci sargılardan akım geçer ve rotor hızlı döner.



Şekil 2.14 : Elektrik motoru

2.2.1.9 Amortisör

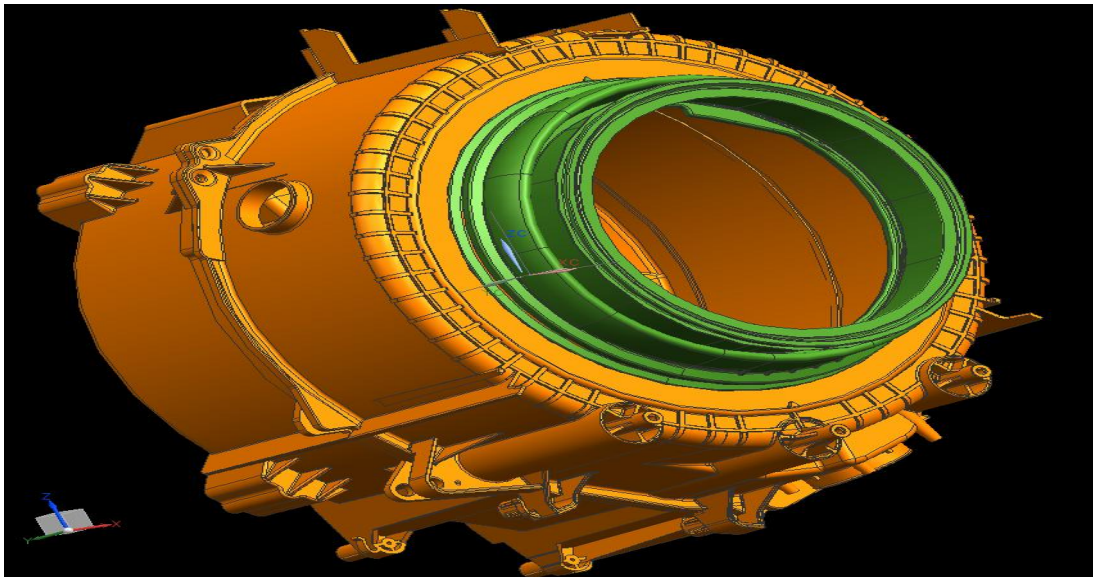
Makine oluşan titreşimleri sönümleme amacıyla kullanılmaktadır. Kazanın iki yanında konumlanmıştır. Kazan üstte yaylar altta ise amortisörler üzerinde durmaktadır.



Şekil 2.15 : Amortisör

2.2.1.10 Conta

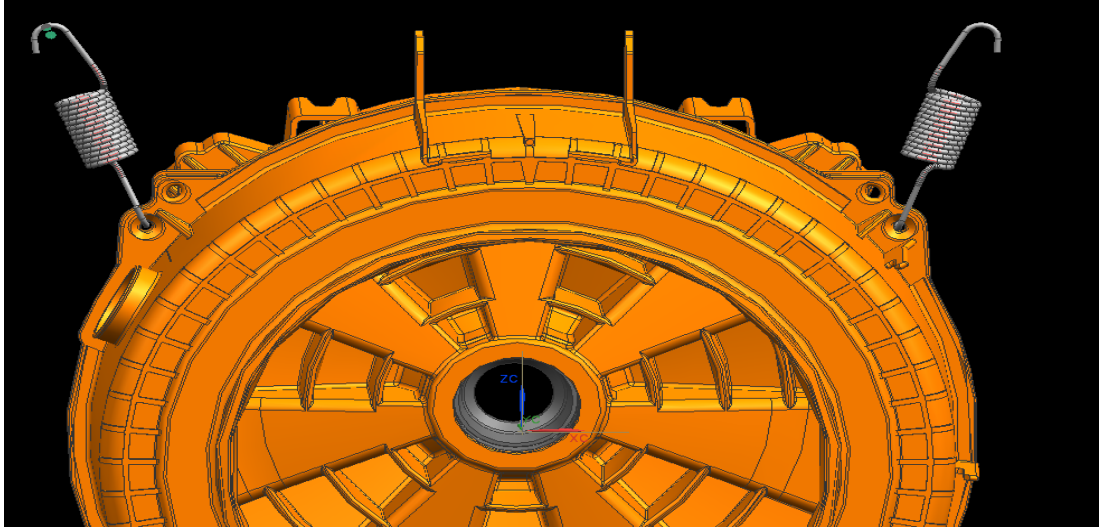
Kazan ve ön panele monte edilen, kauçuktan imal edilen conta sızdırmazlık görevi yapmaktadır.



Şekil 2.16 : Conta

2.2.1.11 Yaylar

Ucundaki kanca yapısıyla yan panellerdeki boşluklara geçirilen yaylar kazanın sağında ve solunda olmak üzere 2 adettir, sönümleme görevi görmektedir.



Şekil 2.17 : Yaylar



Şekil 2.18 : Osilasyon grubu genel görüntü

2.2.2 Gövde ve sabitleme grubu parçaları

Gövde ve sabitleme grubu elemanları aşağıdaki parçalardan oluşmaktadır.

2.2.2.1 n kapak

amaşının makineye konulduğı bölümdür. Kapak camı, demir, dğme, fermuar gibi parçaların sürtünüp çabuk kırılmaması için kalın camdan yapılmıştır. Cam yaklaşık 5 mm kalınlığa sahiptir. Menteşe–vida bağlantısı ile n panele montajı gerçekleştirilmektedir. amaşının cama sürtünmesini azaltmak amacıyla alt kısımları eğik olarak tasarlanmaktadır. Kapak kapatılma işlemi, üzerindeki tırnağın kapı emniyet kilidi kontaklarının kapatılması ile olur.

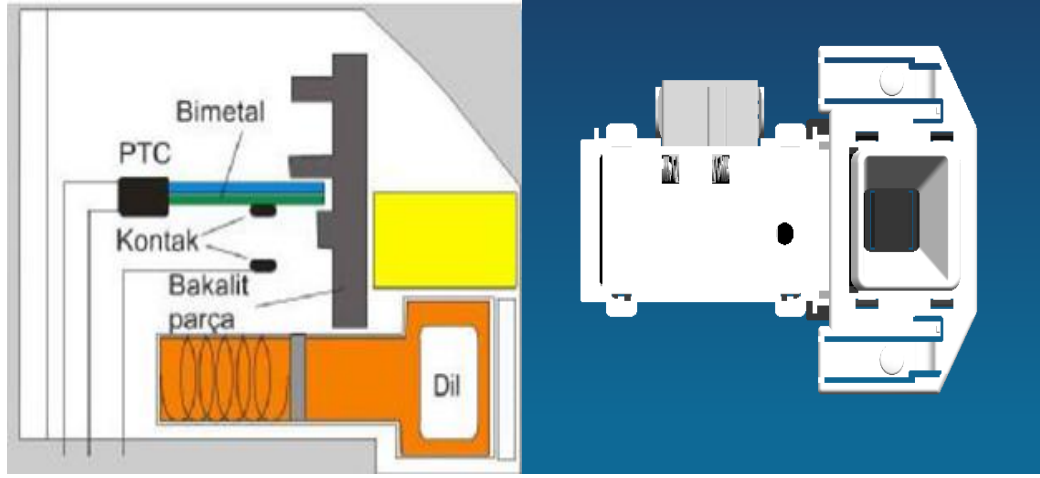


şekil 2.19 : n kapak

2.2.2.2 Kapı emniyeti kilidi

Çamaşır makinesinin çalışma anında kapağının açılmaması için bimetalli ve PTC'li kilit sistemi kullanılmaktadır. Bu düzenek makinede çalışma anında dalgalınlıkla kapağın açılmasını önlemektedir. Makine durdurulduktan 1–2 dakika sonra bimetal soğuyup eski hline döndüğünden kapak kilidi işlevini yerine getirebilmektedir. Kapı kilit sistemi 220 V ile çalıştığından 220 V PTC üzerinden geçtiği zaman ısınmakta ve direnci yükselmektedir. PTC'ye yapışık olan bimetal bükülerek kilitleme işlemi gerçekleşir.

PTC'nin akımı kesilince soğuma başlar. Bimetal soğuyunca eski konumuna döner ve yaylı dil mekanizması kapağın açılabilmesini sağlar [6].



Şekil 2.20 : Kapı emniyeti kilidi

2.2.2.3 Mentеше

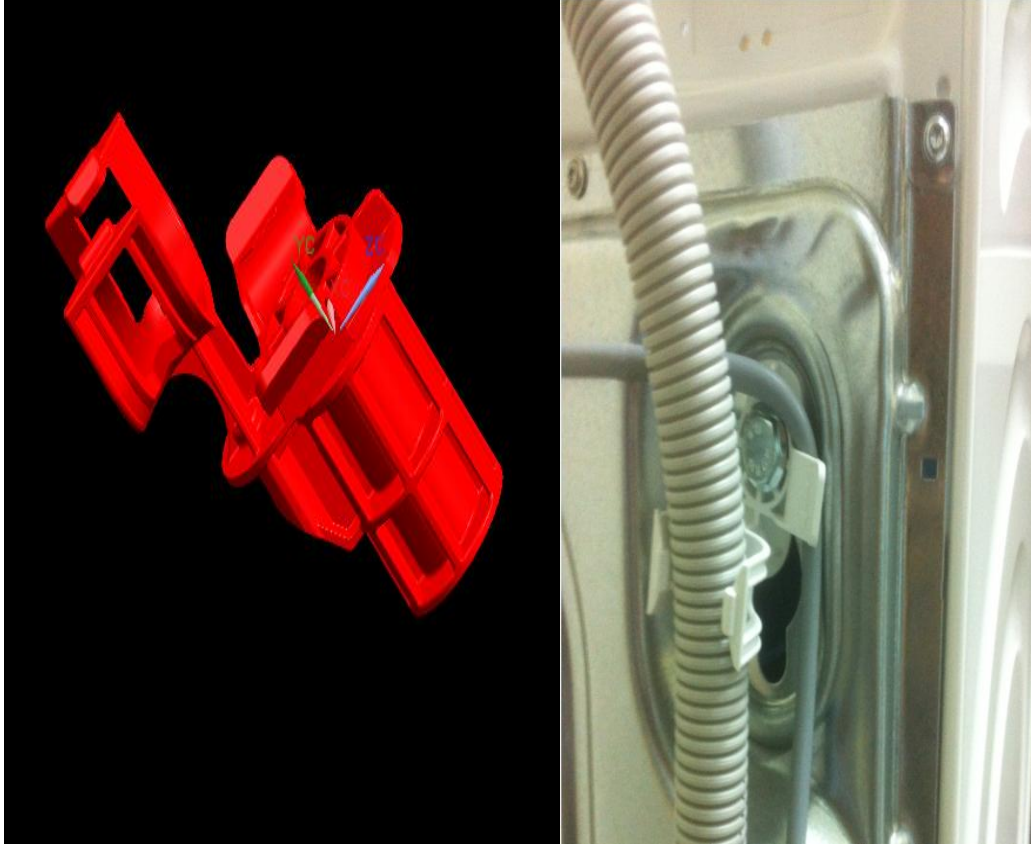
Camlı kapı ile ön panelin bağlantısının sağlanmasında vidalar ile birlikte görev almaktadır. İmal malzemesi olarak genellikle zamak tercih edilmektedir. Zamak bir metal alaşımdır ve ana bileşenlerini çinko, alüminyum, magnezyum ve bakır oluşturur. Bu metaller değişik zamaklarda değişik oranlarda bulunur. Zamak 3-Zamak 5 gibi değişik sertlikte alaşımlarında bu maddeler değişik oranlarda bulunur.



Şekil 2.21 : Mentеше

2.2.2.4 Transport parçası

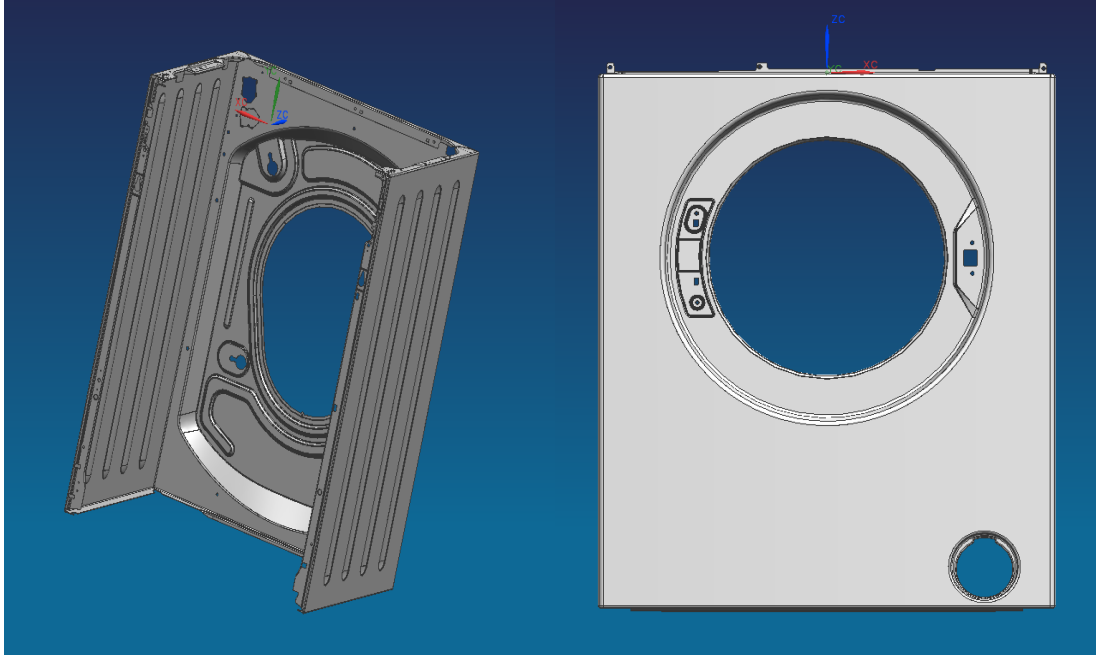
Kablo ve hortum taşınmasına yarayan transport parçaları içerisine yerleştirilen civata vasıtasıyla kazana ve arka panele monte edilmektedir. İmal malzemesi olarak polipropilen kullanımı yaygındır.



Şekil 2.22 : Transport parçası

2.2.2.5 Paneller

Çamaşır makinesinin gövdesini oluşturan ön, arka ve yan paneller 0.88 mm kalınlığındadır. Sac kalitesi olarak DC04 kullanılmaktadır. DC04, yaşlandırmaya dayanıklı ekstra derin çekmeye uygun düşük karbon içeren IF (interstitial free) çeliğidir. Düşük “C” içeren “IF” çelikleri yeni geliştirilmiş malzemelerdir ve mükemmel özelliklere sahiptir. “IF” çelikler çok az “C” ve “N” içerirler (DC04 %0,25 Mn, %0,006 C, % 0,015 F, % 0,10 S ve % 0,10 Ti içermektedir) ve tane sınırında karpid çökmesi içermemektedirler. Bu sebeple “IF” çelikler mükemmel işlenebilirlik ve mekanik özelliklere sahiptirler. “IF” çelikleri, “Ti” ve “Nb” ile kararlı hale getirilerek mükemmel çekilebilirlik yeteneğine sahip olurlar [8].



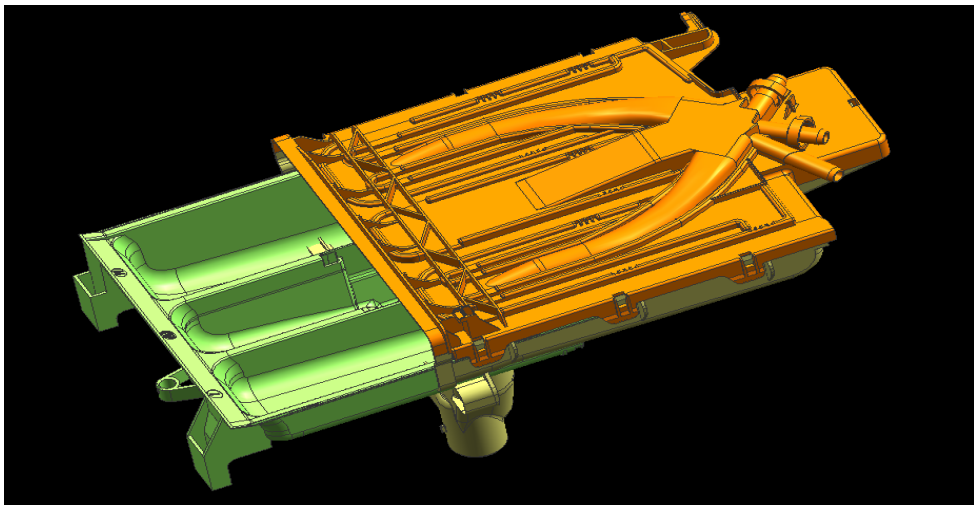
Şekil 2.23 : Ön, arka ve yan paneller

2.2.3 Su ve elektrik-elektronik grubu parçaları

Su ve elektrik-elektronik grubu aşağıdaki parçalardan oluşmaktadır.

2.2.3.1 Deterjan kutusu

Makinenin ön yüzünün sağ veya sol üst köşesinde bulunur. Ön yıkama ile ana yıkama deterjanlarını ve yumuşatıcıyı aynı anda alabilmesi için üç bölmeli olarak plastikten yapılmıştır.



Şekil 2.24 : Deterjan kutusu

2.2.3.2 Su giriş hortumları

Suyun makineye alımında görevli elemandır. Su giriş hortumlarının bir ucu musluğa diğer ucu ise su giriş ventillerine bağlanır. Bazı makineler tek su girişli bazıları çift su girişlidir. Tek su girişli makineler sadece soğuk su alır ve suyu kendisi ısıtır. Çift su girişli makineler ise ön yıkama esnasında soğuk su alır, ana yıkama esnasında makinenin bulunduğu yerdeki sıcak su kaynağını kullanarak sıcak su alır ve bu sayede daha hızlı bir yıkama sağlar.



Şekil 2.25 : Su giriş hortumları

2.2.3.3 Filtre

Makinenin ön yüzünün alt köşesinde bulunur. Yabancı cisimlerin pompaya giderek makinenin görev yapamaz hale gelmesini önleme görevini görmektedir. Tıkanma durumunun gerçekleşmemesi için filtrenin düzenli olarak temizlenmesi gerekmektedir. Tahliye filtresinin haricinde sudaki yabancı maddelerin makineye girmesini engelleyen su giriş filtreleri de bulunmaktadır. Ayrıca suda bulunan yabancı cisimlerin makineye girmesini önlemek için aşağıdaki resimde de görüldüğü gibi su giriş vanalarının önlerine filtreler konulmuştur.



Şekil 2.26 : Filtre

2.2.3.4 Tahliye hortumu

Çamaşır makinesindeki kirli suyun dışarıya atılmasını sağlar. Söz konusu kirli su lavabo veya banyo giderine verilip gönderilebilir.

2.2.3.5 Su seviye anahtarı

Selenoid valf, makineye dışarıdan su almayı sağlar. Kazan içindeki su yeterli seviyeye ulaştığında su seviye anahtarının bir ucunda bağlı olan hava cebindeki havanın sıkışıp basınç yapması ile diyafram kontakların konumunu değiştirir. Selenoid valf bobinleri enerjisini bu kontaklardan alır. Kontaklar konum değiştirdiğinde valflerin enerjisi kesilerek makinenin su alması engellenmiş olur [6].



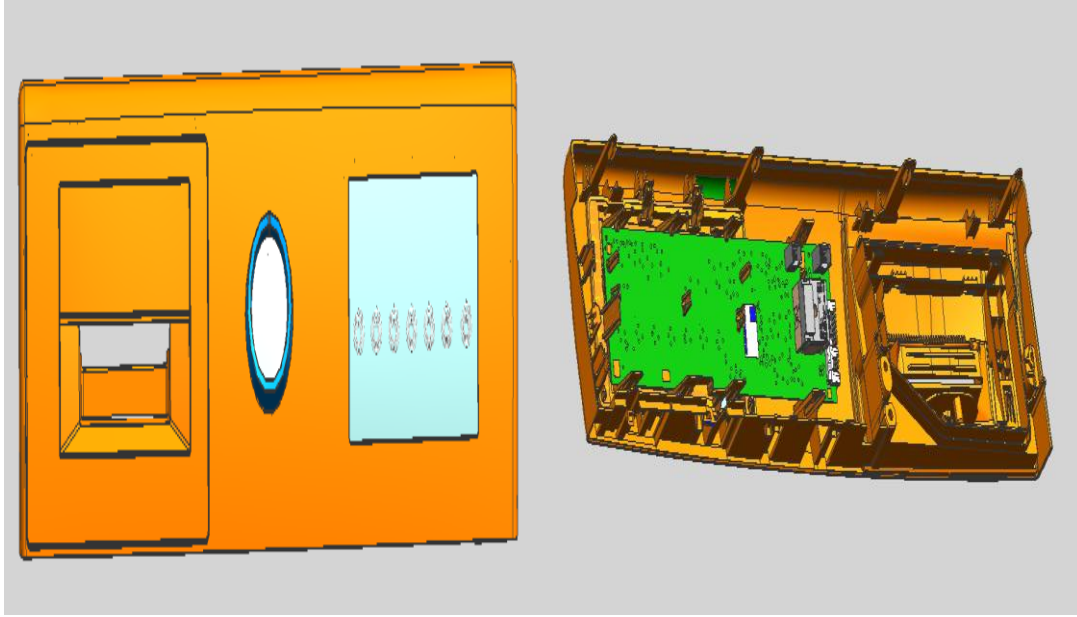
Şekil 2.27 : Su seviye anahtarı

2.2.3.6 Program cihazı

Piyasada program aygıtına “beyin” de denmektedir. Elektromekanik ve elektronik olarak iki şekilde yapılır. Mekanik yapılı program aygıtı sadece eski model çamaşır makinelerinde bulunmaktadır. 2000’li yıllardan itibaren üretilen makinelerin programlama ünitesi dijital elektronik yapıdır. Mikro denetleyici ve mikroişlemci (entegrelerinin) ve diğer parçaların kullanımı yaygınlaşmasından ve fiyatının da düşmesinden dolayı üretici firmalar elektronik program aygıtlarını tercih etmektedir.

2.2.3.7 Dijital ön panel

Çamaşır makinesinin kullanıcı tarafından yönlendirildiği kısımdır. Program, sıcaklık ve diğer fonksiyon tuşları bu parçada bulunmaktadır. Son dönemlerde tuşlar yerine dokunmatik ekrana sahip makineler de üreilmeye başlanmıştır. Bunların haricinde programlar hakkında genel bilgileri de üzerinde bulundurmaktadır.



Şekil 2.28 : Dijital ön panel

2.2.3.8 Hız ve kontrol ünitesi

Program aygıtı ve yıkama motorunun milinde bulunan takojenaratör bobininden aldığı sinyallerle çalışır. Yıkama-sıkma motorunun devir sayısını, dönüş yönünü elektronik devreli kartlar ayarlamaktadır [6].



Şekil 2.29 : Hız ve kontrol ünitesi [6].

2.2.3.9 Pompa motoru

Pompa motorunun görevi kazan içerisinde bulunan kirli suyu dışarı atmaktır. AC 220 Volt, 85–125 W güce sahip küçük boyutlu motorlardır. Makine yıkama ve durulama programları sonunda ve sıkma işlemi yaparken program cihazından aldığı sinyal ile pompa motoru devreye girer.



Şekil 2.30 : Pompa motoru

2.2.3.10 Selenoid valf

Elektrik enerjisi ile çalışan selenoid valfler gaz, hava, su, buhar ve yağ gibi akışkanların geçişini kontrol altında tutan elektromekanik vanalardır. Sıcaklıkları 150°C den düşük olan akışkanlar için kullanılan selenoid valfler, yapı itibariyle elektromıknatıs denetimli bir vanadır. Çamaşır makinesinin su alma ve boşaltma sisteminde rol almaktadır.



Şekil 2.31 : Selenoid valf

2.2.3.11 Rezistans

Çamaşır makinesi içine alınan suyu termostatta ayarlanan sıcaklıkta ısıtan devre elemanıdır. Rezistans oldukça yüksek ısılara karşı direnç gösteren bir üründür. Rezistansların içerisinde nikel, demir, krom ve alüminyum alaşımları bulunmaktadır. Rezistansın en büyük sorunları kireçlenme ve kazanda su yok iken çalıştırılmasıdır.



Şekil 2.32 : Rezistans

2.2.3.12 Takojeneratör

Motorun mekanik enerjisini 25–35 V arası gerilime sahip, küçük akımlı bir elektrik enerjisine çeviren elemandır. Takojeneratör AC seri motor ile birleşik hâldedir. Takojeneratörün ürettiği gerilim AC seri (üniversal) motorun hızını kontrol eden elektronik devre kartına gider. Bu kart takojeneratörden gelen gerilimin değerine göre motorun hızının hangi seviyede olduğunu algılar [6].



Şekil 2.33 : Takojeneratör

2.2.3.13 Parazit kondansatörü

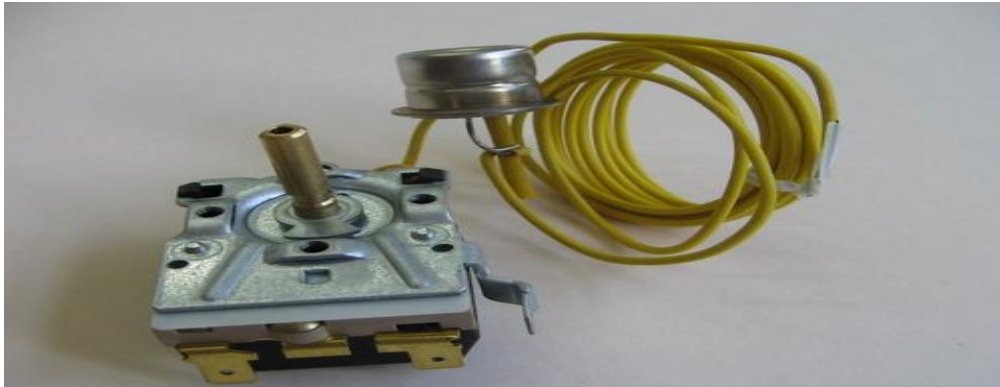
Çamaşır makinesi içerisinde bulunan motor bobini, açılıp kapanan kontaklar çalışma esnasında yüksek frekanslı elektrik sinyalleri üretebilmektedirler. Bu tip yüksek frekanslı elektrik sinyallerinin (parazitik sinyaller) yakın çevresinde bulunan elektronik cihazlara zarar vermesini engellemek için parazit kondansatörü kullanılmaktadır.



Şekil 2.34 : Parazit kondansatörü

2.2.3.14 Termostat

Çamaşır makinesinde sabit değerli ve ayarlanabilen olmak üzere iki adet termostat bulunmaktadır. Bu elemanlar rezistansı devreye alarak yıkama suyunun istenen sıcaklığa kadar ısınmasını sağlar. Su sıcaklığı yeterli seviyeye ulaştığında termostatin kuyruk kısmında yer alan gaz genleşerek diyaframı itip kontakların konum değiştirmesini sağlar. Sabit değerli termostat ön yıkama ve yünlü çamaşırların yıkanması anında gereken 30–40 °C’lik sıcaklığa sahip suyu temin etme işleminde görev alır. Ayarlı termostat ise suyun sıcaklığının 30–100 °C aralığında bir değere getirilmesini sağlamak için kullanılır.



Şekil 2.35 : Termostat

3. SAC ŞEKİLLENDİRME

Metal şekillendirme işlemleri arasında sac metal (ince plaka metal) şekillendirme işlemleri özellikle büyük yer tutmaktadır. Otomotiv kaportası, uçak gövdesi, beyaz eşya dış kaplaması ve daha pek çok yerde sac metal şekillendirme işlemleri yoğun olarak kullanılmaktadır. Sac metal şekillendirme işlemlerinin çoğu, sacı iki kalıp arasında sıkıştırarak istenilen şekle getirmek şeklinde gerçekleşmektedir.

Nispeten ince metal saclarda yapılan şekillendirme işlemlerine sac şekillendirme denmektedir. Sac metal kalınlığı 0.4 mm ile 6 mm arasında değişiklik gösterebilir. Levha kalınlığı ise 6 mm'den daha fazladır. Yapılan şekillendirmeler genellikle soğuk şekil verme olarak gerçekleşir. Bunun sebebi ise belirli sınırdan sonra yüzey-hacim oranının büyümesinden dolayı soğuma işleminin çabuk gerçekleşmesi ve sıcak işlenememesidir [9].

Sac şekillendirme günümüzde pek çok uygulama alanı bulduğu için büyük önem arz etmektedir. Avantajları arasında yüksek dayanım, seri üretime uygunluk, iyi yüzey kalitesi, nispeten düşük maliyet, yüksek boyutsal doğruluk bulunmaktadır. Saclar çok hassas malzemeler olduğu için şekillendireceğimiz sacların şekil alabilirliğini iyi tanıyarak, buna göre malzeme seçimi yapmamız gerekir.

Biçimlendirmeye uygun saclar düşük karbonlu olmalıdır. Kaba olarak karbon için sınır % 0.15 verilebilir. Sacın biçimlenebilirliği ve biçimlendirmede önemli diğer özellikler (yüzey kalitesi, yaylanma dayanımı, vs.) büyük oranda çeliğin tipine bağlıdır.

Saclar;

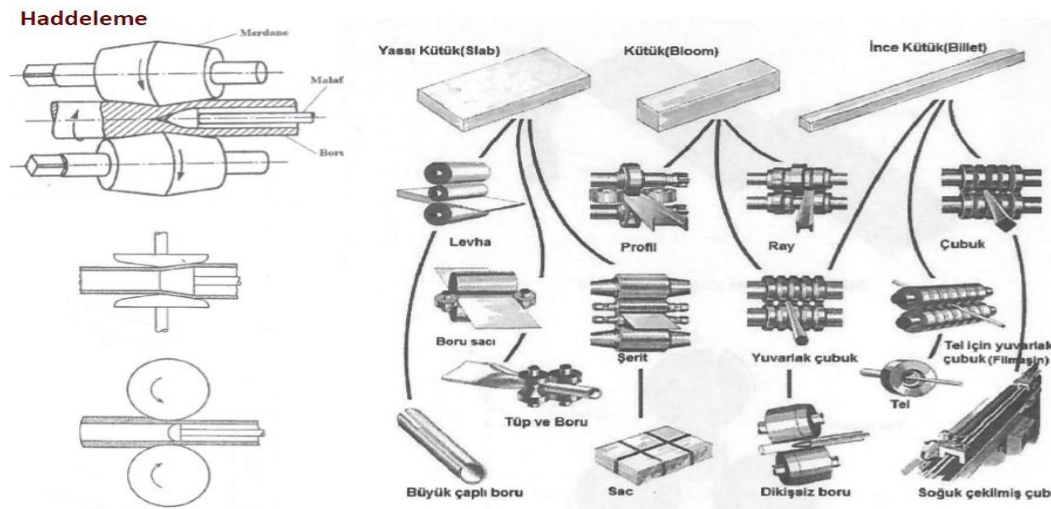
- Sıcak haddelenmiş (genellikle kalın saclar (>3mm))
- Soğuk haddelenmiş olarak üretilir.

Bununla beraber orta kalınlıktaki saclar (1,5–3 mm) her iki yöntemle de üretilebilirler.

Biçimlendirmeye elverişli olabilmeleri için, sıcak haddelemiş sacların yüzeyi temizlenmiş olmalıdır [10].

3.1 Sac Plaka Üretimi

Çeşitli yöntemlerle elde edilen çelikler önce potalara alınır sonra ingot kalıplarına dökülür. 52.5 x 52.5cm kesitinde hafif konik 1500 kg ağırlığında bloklar haline getirilir, burada kullanılan kalıplar döküm kalıplardır. Kalıplar ingotlardan sıyrılarak ayrılır. Bundan sonra ingotlar soğuma arabalarında soğumaya terk edilir. Çelik üretiminde ingotların haddelenmesiyle istenilen profiller elde edilmekte ise de modern yöntemlerle sürekli döküm makinelerinde doğrudan Slab elde edilmektedir. Slab kare veya dikdörtgen kesitli ve kesiti 225cm² olan çelik bloklardır. İki ya da daha fazla silindir arasından malzemeleri sıcak ya da soğuk olarak geçirmek suretiyle düz veya profil hale getirme işlemi yöntemine haddeleme adı verilir. Sıcak haddelemede çelik malzeme 1100-1200°C° arasında tavllanır. Çelik fırınlarından alınarak ingot haline getirilen ya da döküm makinelerinde slab haline getirilen malzemeler uygun sıcaklıklarda silindirler arasından birkaç kez geçirilir. Her silindirden geçirildikten sonra ölçü biraz daha düşürülür, istenilen ölçüye getirilir. Haddeleme ikili veya dörtlü silindirler halinde, tek ya da sıralı olarak yapılır. Sac plaka üretimi gerçekleştirilirken çift yönlü dönen silindirler arasında haddelenen saclar birkaç dakika içinde 350 – 400 m uzunlukta ince şeritler haline gelir. Son ölçüsüne getirilmiş olan sac plakaları silindirleri terk ederken su jetleri ile oksitlerinden temizlenir. Asitlenerek dekopajlanır. Böyle saclara dekape adı verilir. Daha sonra rulo haline getirilir. Son olarak hava kontrollü fırınlarda gerginlik giderme işlemlerine tabi tutulur. Saclar sanayide 1x2 mt ve 1,20x2,40 m ebatlarında ya da rulo halinde satılır [11].



Şekil 3.1 : Haddeleme işlemi sonucu oluşan ürünler [12].

3.2 Sacların Şekillendirilmesini Etkileyen Faktörler

3.2.1 İşlem değişkenleri

Kalıp ve zımba geometrileri, konfigürasyonları, kalıp mamul boşlukları, pot basıncı süzdürme uygulamaları gibi değişkenler sac şekillendirme işlemlerini etkileyen önemli parametrelerdir. Bu faktörler aynı zamanda şekillendirme işlemlerinin sınırlarını belirlemede önemli rol oynamaktadır. Bu parametreler arasında kalıp ve zımbaların köşe radyusları (çekme radyusu genellikle karmaşık parçalar için sabit değildir) bölgesel şekil değişimlerde çok etkin olmalarından dolayı oldukça önemlidir. Tasarımcılar tarafından keskin hatlara sahip karmaşık şekilli parçalar için küçük radyuslu zımbalar kullanmak zorunda kalmaktadır. Bu gibi durumlarda çekme radyusu ya bu hattın dışından geçmeli ya da çekme operasyonunda bu değer büyütülüp kalibre operasyonunda istenilen değere düşürülmelidir. Küçük çekme radyuslarının oluşturduğu büyük yerel şekil değişimlerden dolayı imalatta büyük zorluklar çıkarmaktadır. Radyus üzerindeki bölgesel şekil değişimleri deformasyonun diğer bölgelere yayılmasını önleyerek hasar olasılığını artırır. Bu tür parçalarda yumuşak geçişlerin olmayışı, işlem sırasında kalıbın deformasyonunu takip edememesi problemini de meydana getirebilir. Ayrıca montaj sırasında zımba kalıp grubundaki eksen kaçıklıkları da şekillendirme sırasında sac üzerinde oluşan farklı doğrultulardaki kuvvet bileşenlerini değiştirecektir. Genellikle imalat sırasında çekme kalıplan için plaka tipi yataklamalar kullanılmaktadır. Bu yataklar için paralellik toleransı $\pm 0,1$ mm' dir [13].

Baskı plakası (pot) basıncı şekillendirme sırasında germe ve derin çekme miktarlarını etkilemektedir. Baskı plakası basıncındaki artış derin çekmeye nazaran germe şekil değişimlerini arttıracaktır. Baskı plakası basıncı çok büyükse belirli bölgelerde baskı plakası ile dişi arasındaki sac kalınlık miktarını azaltacağından yırtılma, çok küçükse sacdaki kırışma isteğini engelleyemeyeceğinden kırışma meydana gelecektir. Sac üzerinde gerilme istendiğinde pot basıncını gereğinden fazla arttırmak yerine bu bölgelere süzdürme uygulanmalıdır [13].

Yağlama, kalıp ile sac arasındaki sürtünmeyi azaltarak şekillendirme sırasında daha uniform şekil değişimlerinin meydana gelmesinde rol oynamaktadır. Yağlama şartlarının iyileştirilmesi ile hasar bölgesindeki noktalar emniyetli bölgeye kaydırılabilmektedir.

3.2.2 Malzeme değişkenleri

Elastisite modülü malzemeye ait karakteristik bir özelliktir. Modül yükseldikçe, atomlar arası bağ kuvvetinin arttığı, bununla birlikte mukavemetin ve akma gerilmesi arttığı söylenebilir. Elastisite modülü, düşük gerinimlerdeki şekillendirme işlemlerinde şekil çarpıtmaya ve geri yaylanmaya etki eder. Özellikle bükme ve diğer şekillendirme işlemlerinde ortaya çıkabilen geri yaylanma, büyük ölçüde elastiklik modülü ve elastik bölgedeki gerinimlerle ilgilidir. Şekillendirme derecesi ve sac kalınlığı sabit kalmak koşuluyla, malzemenin elastiklik modülünün artmasıyla geri esneme miktarı azalmaktadır [14].

Belirgin bir üst akma noktası, katılma sırasında N, O, H, C gibi ara yer atomlarının dislokasyon boşluklarına yerleşerek dislokasyonun hareketini önlediğı basit karbonlu sakınleştirilmemiş çelik gibi malzemelerde görülür. Bir parçanın tüm bölgelerinde kalıcı ve homojen bir şekil değişimi elde edebilmek için bu üst akma gerilmesi asılmalıdır. Bu sebeple sac şekillendirme işlemlerinde malzemenin belirgin akma göstermesi istenmez [13].

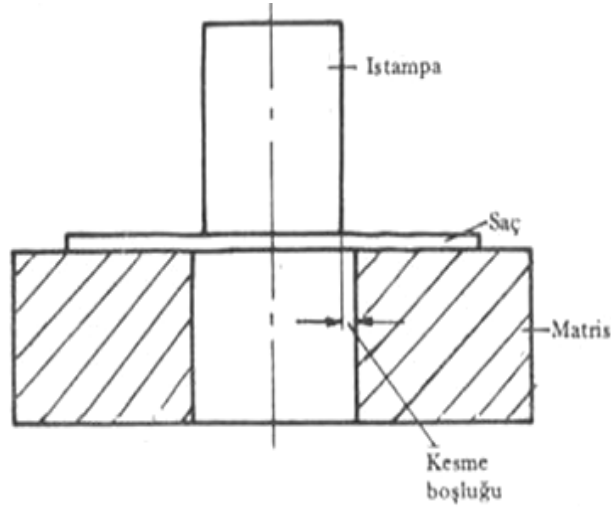
Sacların şekillendirilmesinde malzemenin üniform yüzde uzamasının yüksek olması istenir. Gerçek gerilme–gerçek şekil değiştirme davranışı $\sigma = K\varepsilon^n$ ile gösterilebilen bir malzemenin çekme deneyinde maksimum yükte $\varepsilon=n$ olduğundan plastik şekillendirilecek bir sacın pekleşme üstelinin yüksek olması faydalıdır. Çekme deneyinde kopma uzaması, üniform uzama ile büzölme uzamasının toplamıdır. Üniform uzamaya malzemenin pekleşme üsteli n , büzölme uzamasına ise şekil değiştirme hızı duyarlılığı üsteli m etki eder. Yüksek m değeri kırılmadan önce oluşan büzölme uzamasının büyük olmasına yol açar. Dolayısıyla m ve n değerleri büyüdükçe toplam uzama artar [10].

Anizotropi malzemenin özelliklerinin yöne bağımlılığıdır. Plastik anizotropi değeri, sacların derin çekilmesini önemli derecede etkilediğinden, derin çekilebilirlik ölçütü olarak ele alınmaktadır. Ortalama dikey anizotropi parametresinin 1'den büyük olması istenir. Başka bir deyişle, çelik sacın kalınlık yönündeki gerinim direncinin, genişlik yönündeki gerinim direncinden büyük olması istenmektedir. Böylece malzemenin kalınlığında fazla incelme olmadan, gerinimin büyük oranda sac yüzey düzleminde oluşmasını ve şekillendirmenin başarıyla sonuçlandırılmasını sağlamak amaçlanır [14].

3.3 Sac Şekillendirme Yöntemleri

3.3.1 Kesme

Saclar preslerde kalıpla kesilerek istenen çevre şeklinde parçalar elde edilir. Sac kesme kalıpları en basit şekliyle kesme matrisi ve bir ıstampaadan oluşur. Istampaa ve matris tarafından metale birbirine eşit fakat aksi yönde ve aralarında kesme boşluğu kadar uzaklık bulunan kesme gerilmeleri uygulanır. Böylece matris deliğinin ve ıstampanın çevresi şeklinde bir sac parçaa kâğıdın kesilmesi gibi kesilir.



Şekil 3.2 : Şematik sac kesme kalıbı [13]

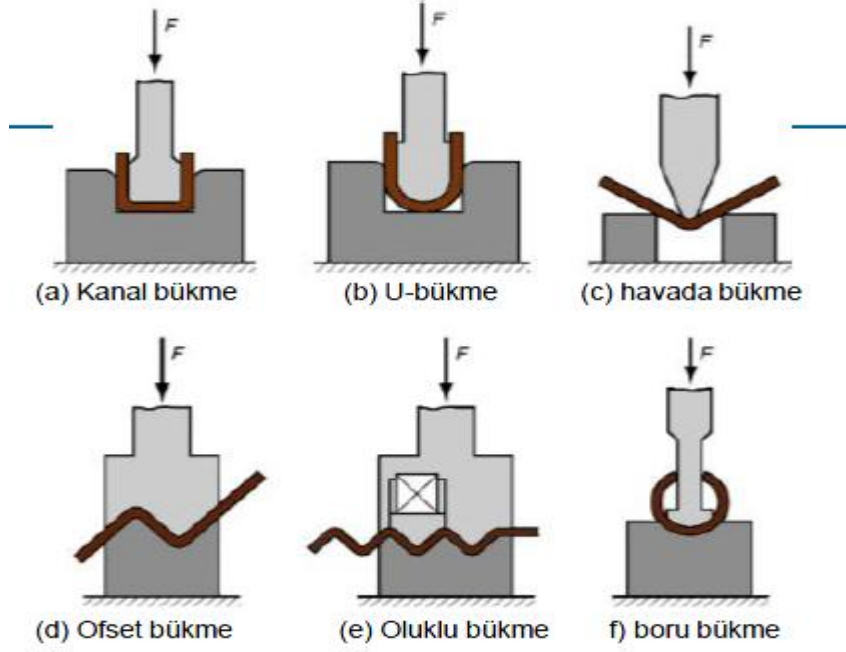
Kesme sisteminde hareketli ağız ıstampa, sabit ağız matris üzerindedir. Yukarıda da belirtildiği gibi, matris ve ıstampa arasındaki aralık sac kalınlığı ve sac malzemesinin fonksiyonudur.

3.3.2 Bükme ve kıvrırma

Bir sac parçasının bir kısmının bulunduğu düzlemle verilmiş bir açı yapan başka bir düzleme gelmesini sağlamak için yapılan işleme bükme denir. Bükmede düzlemler arasında bir açı oluşturulabileceği gibi, belirli çaplarda eğri şeklinde bükmelerde yapılabilir.

Kıvrırma ise, sonsuz sayıda bükmelerin kapalı veya açık eğri meydana getirmeleri olarak tarif edilebilir.

Sacların, içi dolu malzemelerin ve boru profillerin bükme - kıvrırma işlemlerini çelik eşya, dekoratif demircilik, makine imalat, çelik yapı gibi birçok sektörde görebiliriz.

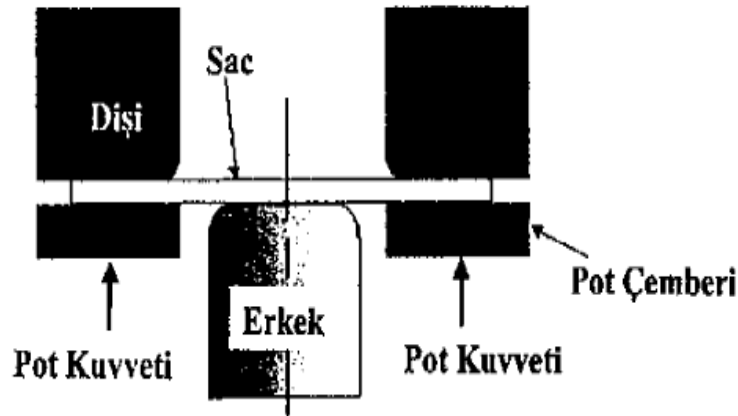


Şekil 3.3 : Çeşitli bükme işlemleri [9]

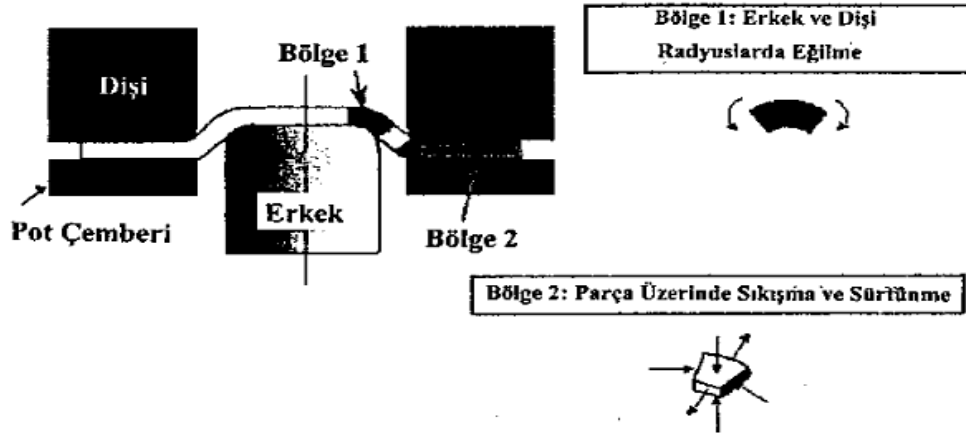
3.3.3 Derin çekme

Derin çekme, metal sac parçaların şekillendirebilmesinde en önemli temel yöntemlerden birisidir. Paketleme, otomotiv ve diğer taşıtlar, beyaz eşya ve mutfak gereçleri gibi alanlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

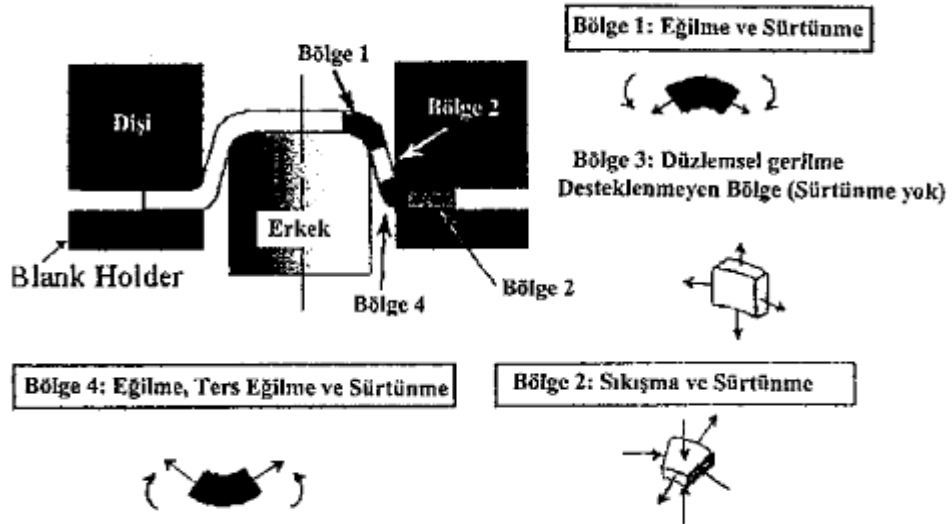
İmal edilecek olan parçanın açılmış şekline uygun bir sac parçası çekme matrisi üzerine konur. Pot çember adı verilen bir bastırıcı sac levhayı tutar ve bir ıstampa sac parçasını matris deliğinden geçirerek, iş parçasının elde edilmesini sağlar.



Şekil 3.4a : Sacın pot ile dişi arasında tutulması



Sekil 3.4b : Form verme başlangıcı



Şekil 3.4c : Form sonu

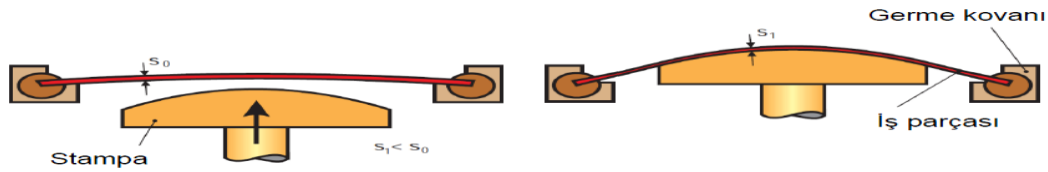
3.3.4 Doğrultma

Metal parçaların imalatı, nakli ve depolanması sırasında eğilme, bükülme, çarpılma, çekme gibi hasarlar oluşabilir. Bu gibi olayların giderilerek parçaların eski haline getirilmesi yani düzeltilmesi gerekir. Bu işlem doğrultma ile yapılır. Böylece, parça tekrar kullanılır, işe yarar duruma getirilir. Örneğin, kaynak edilen parçada görülen çekme ile parçanın bozulması, sacların işlenmesinde deforme olması, küçük çaplı parçaların işlem esnasında eğilmesi doğrultma ile giderilir.

Doğrultma işleminin gerçekleştirilmesi için çekiç, doğrultma pleytleri, markalama takımları gibi araçlar kullanılabilir.

3.3.5 Germe

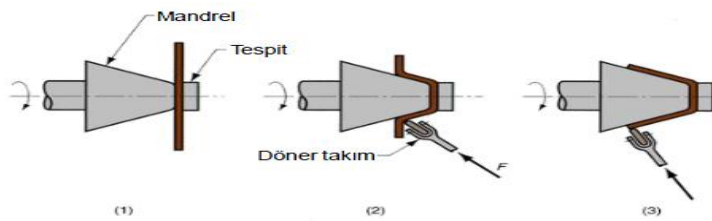
Görünüşte birbirine benzemekle beraber işlem olarak değerin çekmeden farklıdır. Germede, sac iki uçtan bağlanmıştır ve derinli sacın incelmesi ile elde edilir. Derin çekmede ise sac sabitlenmez. Taslak baskı çemberine uygulanan kuvvet oldukça yüksek tutulmuştur. Zımba, derin çekmede olduğu gibi düz uçlu değil küreseldir. Dolayısıyla malzeme hareket eden zımba altında taslak kalıp boşluğuna itilirken incelemek ve zımbanın şeklini alacaktır. Taslak çemberine uygulanan yüksek baskı yükü yakadan kalıp boşluğuna malzeme akışına meydan vermeyecek ve sonuç olarak biçimlendirme sadece sacın incelmesi ile sağlanacaktır [10].



Şekil 3.5 : Germe işleminin şematik gösterimi [15]

3.3.6 Sıvama

Sıvama, sac veya boru biçimli malzemelerin, kendi eksenleri etrafında döndürülürken, çeşitli takımlar ile uygulanan radyal ve/veya aksel yönde kuvvetler neticesinde şekillendirilmesidir. Sıvama ile işlenecek parçalar dönme eksenine göre simetrikler; örneğin dairesel kesilmiş plakalar, borular, v.b. gibi geometridirler. Sıvama, bu tanıma uygun olan fakat birbirinden farklı birçok yöntemi kapsar. İşlem esnasında, sıvama tipine göre, malzeme belirli bir kalıbın üzerine sıvanarak şekillendirilebileceği gibi belirli bir kalıp geometrisi olmadan, boşlukta da şekillendirilebilir. Şekillendirme, işlemin gereklerine göre soğuk veya sıcak olarak yapılır. Sıvama ile imalat, talaş kaldırılmaması ve imalat hızının yüksek olması, sıvamayı cazip kılan temel etmenlerdir [16].



Şekil 3.6 : Geleneksel sıvama

3.4 Sac Şekillendirme Makineleri

3.4.1 Abkant pres

Abkantlar çeşitli tonajlarda (30-500 ton arası) ve genişliklerde (1000-8000mm) arasında olabilirler. Büküm işlemini gerçekleştiren üst ve alt kalıpları vardır. Üst kalıplar (erkek kalıp) "V" şeklinde, alt kalıplar (dişi) ise yine "V" şeklinde olup erkek kalıbın tam olarak içine oturmasını sağlar. Arasında kalan sac levhayı büyük bir hidrolik kuvvet uygulayarak programlanan şekilde bükerek.



Şekil 3.7 : Abkant pres

3.4.2 Hidrolik pres

Hidrolik presler yağ basıncı ile çalışan preslerdir. Tek tesirli, çift tesirli ya da gövde yapılarına göre açık gövdeli veya kapalı gövdeli olabilirler. Elektrik enerjisi ile yağ basmaya yarayan pompalar döndürülerek elektrik motorundaki sisteme basınçlı yağ basılır. Bu basınçlı yağ silindirlere etki ettirilir. Böylece silindirler ileri geri (doğrusal) hareket ederek mekanik enerjiyi meydana getirmiş olur. Ve bağlı olan hareketli kafa aşağı yukarı şekilde hareket eder [17].



Şekil 3.8 : Hidrolik Pres

3.4.3 Giyotin makas

Giyotin makaslarda alt bıçak makine gövdesine bağlıdır. Üst bıçak ise bir mil üzerinde eksantriğe bağlı biyel kolları yardımıyla aşağı yukarı hareket ettirilir. Bu sayede saçların kuvvet harcamadan düzgün kesilmesi sağlanır. Gövde genellikle dökümden üretilir. Kesme yapan alt ve üst bıçaklar arasında boşluk bırakılır. Kesmenin yapılabilmesi için bu boşluk gereklidir. Ayar işlemleri masterlarla gerçekleştirir. Elektronik olarak çalışan modern tipleri de mevcuttur [11].



Şekil 3.9 : Giyotin Makas

3.4.4 Silindir makinası

Abkant preste bükmede kalp uzunluğu sınırlıdır ve her parça ayrı ayrı bükülür. Saçların sürekli bir şekilde bükülmesi ve büyük üretim adetleri için abkant presler yerine silindir makineleri kullanılır. Her malzeme silindir makinesinde şekillendirilebilirse de en çok işlenen saçlar alüminyumla alaşımsız ve paslanmaz çeliklerdir. İşlem genellikle oda sıcaklığında yapılır. Yalnız bazı metallere ön ısıtma uygulanır (örneğin Mg ve Ti 200...260 ° C sıcaklığa ısıtılır).

Bu yöntemde saç bir seri merdane arasında geçerken kademeli olarak bükülür. Tipik üretim örneği olarak kaynak dikişli borular gösterilebilir. Dikişli boru üretiminde makineye bir de kaynak birimi eklenmesi gerekir [10].



Şekil 3.10 : Hidrolik Silindir Makinesi

3.5 Sac Şekillendirme İşlemlerinde Görülen Hatalar

Yırtılma, zimba kenar yarıçapının çok küçük olmasından ya da saca kaldırabileceği derin çekme miktarından daha fazla çekme uygulanmasından kaynaklanır. Sacın çekme dayanımının aşılması sebeptir. Bu hatayı önlemek için baskı çemberine uygulanan yükü azaltmak, iyi bir yağlama yapmak gerekir. Ayrıca kalıp boşluğuna kauçuk koyarak kap duvarı ile zımbanın daha iyi temasını sağlamak önerilebilir [10].

Buruşukluk, sacın şekillendirilmesi esnasında oluşan basma gerilmeleri etkisi ile oluşan gerilmelerin malzeme ve kalınlığına bağlı olarak kritik bir değeri aştığında oluşturduğu engebelere denmektedir. Eğer sıkıştırma basıncı yeterli değilse kırışıklık denilen daha büyük engebeler ve dalgalanmalar oluşur. Özellikle; kesit değişiminin fazla olduğu ve kalıpla temasın olmadığı durumlarda yaygın oluşur. Sıkıştırma kalıbının basıncını arttırmak genellikle bu sorunu engeller [18].

Damarlanma, biçimlendirme işleminin başında malzemenin damarlar halinde düzensiz deforme olması halidir. Daha çok ticari ve derin çekme kalite çelik sacların bir sorunudur. Olay çeliğin yaşlanması kaynaklanır. Ekstra derin çekme kalite çelik saclarda yaşlanma olmadığı veya çok az olduğu için (sıcak haddelenmiş) damarlanma görülmez veya önemsizdir [10].

Kırılma, metalik sac şekillendirilirken uygulanan germe veya derin çekme kuvvetlerinin, malzemenin kırılma limitlerini aşması sonucu gerçekleşir. Germede, sac başlangıçta homojen, daha sonra ise bölgesel olarak inceler. Deformasyonun yoğunlaştığı incelmış bu bölgeye boyun vermiş bölge denir ve kırılma son olarak burada gerçekleşir. Boyun vermenin oluşması da bir hasar olarak kabul edilir, çünkü gözle görülebilir bir hata oluşturur ve yapısal zayıflamaya neden olur [18].

Aşırı deforme olmuş metal sac, eğer büyük taneli ise, kaba görünümlü bir yüzeye sahip olur. Metallerde yüzey probleminin diğer bir nedeni ise malzemenin süreksiz akma göstermesidir. Bu metallerde düşük birim şekil değişimi değerlerindeki deformasyonlar Lüders bantları denilen düzensiz izler oluşturur. Bu hatalar orta ve yüksek birim şekil değişimi seviyelerinde görülmez. Ancak neredeyse her parçada düşük birim şekil değişimi içeren bölgeler vardır. Bu hatalar belirsiz değildir ve boyama ile kapatılamaz [18].

4. SONLU ELEMANLAR METODU

Sonlu elemanlar metodunun (SEM) temelindeki fikir, karmaşık bir problemin yerine eşdeğer ancak daha basit bir problem konularak çözüme gidilmesidir. Gerçek problemin yerine başka bir problem yerleştirildiği için alınacak sonuç genellikle tam doğru sonuç değil, yaklaşık bir sonuçtur. Mevcut matematiksel yöntemler ve bilgisayar programları yardımıyla sonlu elemanlar metodu ile hemen her problemde tatmin edici yaklaşıklıkta sonuçlar elde etmek mümkündür [19].

Sonlu elemanlar metodunda, çözüm bölgesinin çok sayıda küçük ve birbirine bağlı alt bölgeden oluştuğu kabul edilir. Bu alt bölgelere sonlu eleman ismi verilmektedir. Çözüm aşamasında tüm bu küçük sonlu elemanlar için yaklaşık sonuçlar bulunur ve sınır koşulları ve denge denklemleri kullanılarak tüm yapı için sonuca gidilir [19].

Metodun üç temel niteliği vardır: İlk olarak, geometrik olarak karmaşık olan çözüm bölgesi sonlu elemanlar olarak adlandırılan geometrik olarak basit alt bölgelere ayırır. İkincisi her elemandaki, sürekli fonksiyonlar, cebirsel polinomların lineer kombinasyonu olarak tanımlanabileceği kabul edilir. Üçüncü kabul ise, aranan değerlerin her eleman içinde sürekli olan tanım denklemlerinin belirli noktadaki (düğüm noktaları) değerleri elde edilmesinin problemin çözümünde yeterli olmasıdır. Kullanılan yaklaşım fonksiyonları interpolasyon teorisinin genel kavramları kullanılarak polinomlardan seçilir. Seçilen polinomların derecesi ise çözülecek problemin tanım denkleminin derecesine ve çözüm yapılacak elemandaki düğüm sayısına bağlıdır [20].

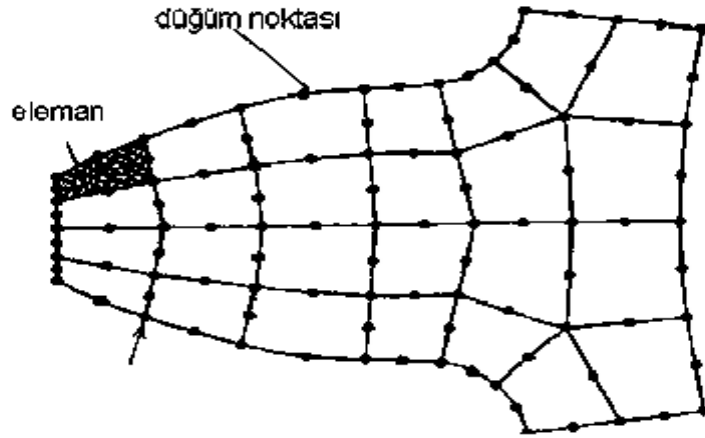
Sonlu elemanlar metodunda temel fikir sürekli fonksiyonları bölgesel sürekli fonksiyonlar (genellikle polinomlar) ile temsil etmektir. Bunun anlamı bir eleman içerisinde hesaplanması istenen büyüklüğün (örneğin deplasmanın) değeri o elemanın nodlarındaki değerler kullanılarak interpolasyon ile bulunur. Bu nedenle sonlu elemanlar metodunda bilinmeyen ve hesaplanması istenen değerler nodlardaki değerlerdir.

Bir varyasyonel prensip (örneğin; enerjinin minimum olması prensibi) kullanılarak büyüklük alanının nodlardaki değerleri için bir denklem takımı elde edilir. Bu denklem takımının matris formundaki gösterimi,

$$[K][D]=[R] \quad (4.1)$$

Burada $[D]$ büyüklük alanının nodlardaki bilinmeyen değerlerini temsil eden vektör, $[R]$ bilinen yük vektörü ve $[K]$ ise bilinen sabitler matrisidir. Yapı problemlerinde $[K]$ rijitlik matrisi olarak bilinmektedir. $[D]$ yapının deformasyon vektörünü ve $[R]$ de çubuğa etki eden kuvvet vektörünü göstermektedir [21].

Şekilde bir sonlu eleman modelinde nod noktaları ve elemanlar gösterilmektedir.



Şekil 4.1 : Bir sonlu eleman modelinde nod noktaları ve elemanlar.

4.1 Sonlu Elemanlar Metodunun Tarihçesi

Sonlu elemanlar metodu ilk olarak yapı analizinde kullanılmaya başlandı. İlk çalışmalar Hrennikoff (1941) ve Mc Henry (1943) tarafından geliştirilen yarı analitik analiz metodlarıdır. Argyris ve Kelsey (1960) virtüel iş prensibini kullanarak bir direkt yaklaşım metodu geliştirmiştir. Turner ve diğerleri (1956) bir üçgen eleman için rijitlik matrisini oluşturmuştur. “Sonlu Elemanlar” terimi ilk defa Clough (1960) tarafından çalışmasında telaffuz edilmiştir. Metodun üç boyutlu problemlere uygulanması iki boyutlu teoriden sonra kolayca gerçekleşmiştir [22].

İlk gerçek kabuk elemanlar eksenel simetrik elemanlar olup (Grafton ve Strome (1963)), bunları silindirik ve diğer kabuk elemanları izlemiştir (Gallagher (1969)).

Araştırmacılar 1960'lı yılların başlarında non-lineer problemlerle ilgilenmeye başladılar. Turner ve diğerleri (1960) geometrik olarak non-lineer problemler için bir çözüm tekniği geliştirdi. Sonlu elemanlar metoduyla stabilite analizi ise ilk olarak Martin (1965) tarafından tartışılmıştır.

Statik problemlerin yanı sıra dinamik problemlerde sonlu elemanlar metoduyla incelenmeye başlandı (Zienkiewicz ve diğerleri (1966), Koenig ve Davids (1969)).

Yapı alanı dışındaki problemleri sonlu elemanlar metoduyla çözümü 1960'lı yıllarda başlamıştır. Örneğin Zienkiewicz ve Cheung (1965) sonlu elemanlar metodu ile Poisson denklemini çözmüştür. Doctors (1970) ise metodu potansiyel akışa uygulamıştır. Sonlu elemanlar metodu geliştirilerek ısı transferi, yer altı sularının akışı, manyetik alan ve diğer bir çok alana uygulanmaktadır [22].

1970'li yıllardan itibaren genel amaçlı sonlu elemanlar paket programları ortaya çıkmaya başlamış, 1990'lardan itibaren sonlu elemanlar yöntemi ve uygulamalarıyla ilgili olarak pek çok kitap ve makale yayınlanmıştır.

Çağımızın en büyük teknolojik gelişmesi olarak bilinen bilgisayar teknolojisinin gelişmesi, bu yöntemle çok büyük katkı sağlamıştır. Günümüzün bilgisayarları, çözülmesi aylar bulunan problemleri, en kısa zamanda çözmekte ve gerçek sonuçlara çok yakın yaklaşık sonuçlar verebilmektedirler.

4.2 Sonlu Elemanlar Metodunun Uygulama Alanları

Sonlu elemanlar metodunun uygulama alanları özdeğer (eigenvalue), denge ve yayılma problemleridir. Kısaca yukarıda bahsi geçen alanların kısaca tarifleri aşağıda açıklanmıştır [23].

Denge problemlerinin bir uzantısı olan özdeğer (eigenvalue) grubuna giren problemler arasında yapıların stabilitesi ve titreşimleri, lineer viskoelastik sönümleme, burkulma, katı ve esnek kaplarda akışkanların çalkalanması vs. gibi problemler en çok bilinenleridir [23].

Kararlı hal problemleri olarak bilinen denge problemlere makine ve inşaat yapılarının gerilme analizleri, katılarda ve sıvılarda kararlı sıcaklık dağılımları, sürekli akış problemleri gibi problemler örnek verilebilir [23].

Yayıma problemleri ise zamana bağı olan problem grubuna giren problemler arasında yapıarda gerilme dalgaları, yapıların darbelere karşı davranışı, viskoelastik problemler, zeminlerden suyun geçişi, katılarda ve sıvılarda ısı geçişi, kararlı olmayan akış problemleri örnek verilebilir [23].

Mühendislik açısından sonlu elemanlar metodunun en geniş uygulama alanı gerilme analizi problemdir. Gerilme analizi problemlerinde yer değışim, kuvvet ve karma yöntem gibi üç yaklaşım dikkate alınmaktadır [23].

Yer değışim yönteminde yer değışimler, dönmeler ve deformasyonlar; kuvvet yöntemi yaklaşımında kuvvetler ve gerilmeler; karma yönteminde ise bilinmeyen veya serbest değışkenler işlenmektedir [23].

4.3 Sonlu Elemanlar Yönteminin Avantaj ve Sınırları

Sonlu Farklar Yöntemi, Ağırlıklı Artıklar Yöntemi gibi sayısal yöntemlerin çoğı, bilgisayar çağı başlamadan önce gelişmiştir ve sonradan bilgisayarlara uyarlanmıştır. Bunun aksine, Sonlu Elemanlar Yöntemi bilgisayar çağının bir ürünüdür. Bu nedenle Sonlu Elemanlar Yöntemi'nin diğr sayısal yöntemlere göre yüksek hızlı bilgisayarlara daha uygun gelen özellikleri vardır. Bu özelliklerin başlıcaları aşağıda belirtilmiştir ;

- Sonlu elemanlar, boyutları ve şekillerinin esnekliğı nedeniyle, verilen bir cismi temsil edebilir, hatta karmaşık şekilli bir cisimde daha güvenilir olabilir.
- Çok bağlantılı bölgeler (bir veya çok delikli cisimler) veya köşeleri olan bölgeler zorluk çekilmeksizin incelenebilir.
- Değışik malzeme veya geometrik özellikleri bulunan problemler ek bir zorluk göstermez. Geometri ve malzeme lineer olmayan, kalıtsal olsa bile (örneğin zamana bağı) malzeme özellikleri kolaylıkla göz önüne alınabilir.
- Sebep – sonuç bağıntılarına ait problemler tümel direngenlik matrisi ile birbirine bağlanan genelleştirilmiş “kuvvetler” ve “yer değıştirmeler” cinsinden formüle edilebilir. Sonlu eleman metodunun bu özelliğı problemin anlaşılmasını ve çözülmesini hem mümkün kılar hem de basitleştirir.

- Sınır şartları kolayca uygulanır.
- Sonlu eleman metodunun çok yönlülük ve esnekliği karmaşık yapılarda, sürekli ortam, alan ve diğer problemlerde sebep sonuç ilişkilerini hesaplamak için çok etkin bir şekilde kullanılabilir. Analitik ve deneysel metodlardan daha hassas sonuç verir [24].

Sonlu Elemanlar Yönteminin yukarıda açıklanan avantajlarının yanında bazı sınırlamaları da bulunmaktadır. Bunlar :

- Bugünkü haliyle yöntemin bazı karmaşık olaylara uygulanmasında, diğerlerine göre daha büyük zorluklarla karşılaşmakta ve her zaman istenen sonuçlar alınamayabilmektedir. Örneğin çatlama, kırılma davranışı, temas problemleri, yumuşayan lineer olmayan malzeme davranışı gibi.
- Genellikle büyük bilgisayar belleğine ve uzun hesaplama zamanına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Ancak malzeme parametreleri ve katsayıları iyi tanımlanmışsa, gerçekçi sonuçlar verebilir.
- Diğer yaklaşık yöntemlerde de olduğu gibi Sonlu Elemanlar Yöntemi'nden alınan sonuçlar dikkatlice değerlendirilmelidir. Formülasyon da kullanılan varsayımlar ve yaklaşıklıklar sonuçlarının değerlendirilmesinde dikkate alınmalıdır.
- Doğru sonuç elde edebilmek için sürekli ortamın bölünmesi ve çok sayıdaki giriş bilgileri hatasız olmalıdır. Programın verileri iyi kontrol edilmelidir [23].

4.4 Sonlu Elemanlar Metodunun Problemlere Uygulama Aşamaları

Sonlu elemanlar metodunun elastik ve sürekli ortamlara uygulanmasında aşağıdaki adımlar uygulanır:

- Yapı, parçalara (elemanlara) bölünür.

- Uygun bir interpolasyon veya yer değişimi modelinin seçimi

Karmaşık bir yapının herhangi belli bir yük altında yerdeğişimi çözümü tamamen doğru tahmin edilemeyeceği için eleman içinde uygun bir çözümün bilinmeyen çözüme yakın olduğu kabul edilmektedir. Kabul edilen çözüm hesap açısından basit olmalı, fakat belli uyumluluk ve sınır şartlarını sağlamalıdır. Genel olarak, çözüm veya interpolasyon modeli bir polinom olarak alınmaktadır.

- Eleman katılık matrislerinin ve yk vektörlerinin elde edilmesi

Kabul edilen yer değişimi modelinden, katılık matrisi $[K]$ ve yk vektörü $[P]$, denge koşulları veya uygun bir varyasyonel yöntem kullanılarak elde edilir.

- Eleman denklemlerinin birleştirilmesiyle toplam denge denklemlerini elde edilmesi

Yapı çok sayıda sonlu elemandan oluştuğu için, tek tek eleman katılık matrisleri ve yk vektörleri uygun bir biçimde birleştirilir ve toplam denge denklemleri;

$$[K] \phi = P \text{ ile ifade edilir.} \quad (4.2)$$

Burada, $[K]$ birleştirilmiş katılık matrisi, ϕ nodal yer değişimleri vektörü, P ise tüm yapı için nodal kuvvetler vektörüdür.

- Bilinmeyen nodal yer değişimleri için zm

Sınır değerleri hesaba katılarak toplam denge denklemleri değiştirilmelidir. Sınır durumlarının da hesaba katılmasıyla genel denklem;

$$[K] \phi = P \text{ haline gelmektedir.} \quad (4.3)$$

Lineer problemlerde, ϕ vektörü kolayca çözülebilir. Ancak non-lineer denklemlerde, çözüme ancak her aşamada katılık matrisi $[K]$ ve/veya yük vektörü P 'nin değiştirilmesiyle gidilebilmektedir.

- Sonuçların bulunması

Bilinen nodal yer değişimlerinden, ilgili matrislerin çözülmesiyle gerilmeler ve şekil değişiklikleri elde edilir.

Yöntemin değişik disiplinlerde uygulanması ile yukarıdaki adımlarda ufak değişiklikler görülse de tüm sonlu elemanlar hesapları genel olarak bu sırayı takip etmektedir [19].

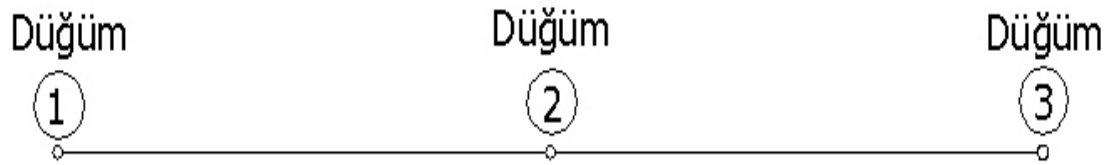
Sonlu elemanlar yöntemini bilgisayar ortamında uygulamak için izlenecek aşamalar ise aşağıda sıralanmıştır.

- Ön süreç: Sonlu elemanlar modelinin hazırlanması, yüklerin ve sınır şartlarının verilmesi.
- Çözüm: Denklem sistemlerinin oluşturulması ve çözülmesi.
- Süreç sonrası: Sonuçların sıralanması ve gösterilmesi [25].

4.5 Sonlu Elemanlar Metodu Eleman Tipleri

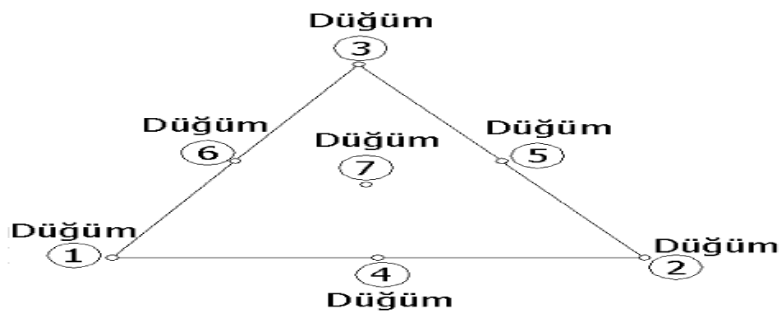
Analizi yapılacak bir parçada doğru sonuçlar alınabilmesi için en uygun bir şekilde sonlu elemanlara bölünmelidir. Sonlu elemanlara bölme işleminde sürekli ortamın boyutuna ve parçanın geometrisine en uygun elemanın şekli seçilmelidir. Seçilen sonlu elemanlar bir, iki veya üç boyutlu olabilirler. Genelde, sonlu elemanın sınırları düzgün olarak seçilmesi yanı sıra bazı durumlarda eğri sınırlı elemanlarında kullanılması gerekebilir.

Ortam geometrisi, malzeme özellikleri, yükleri ve yer değişimleri bir bağımsız uzay koordinatı cinsinden ifade edilebiliyorsa bir boyutlu sonlu elemanlar tercih edilir.



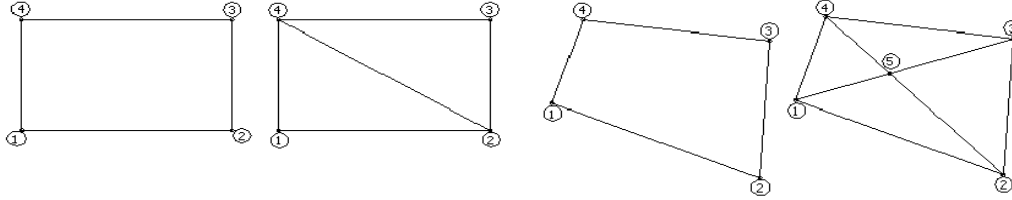
Şekil 4.2 : Bir boyutlu bir sonlu eleman

Bir çok problem, yaklaşık olarak, iki boyutlu sonlu elemanlarla çözülebilir. İki boyutlu eleman tipleri arasında en basiti Şekil 4.2’ de görülen üçgen tipi sonlu elemanıdır.



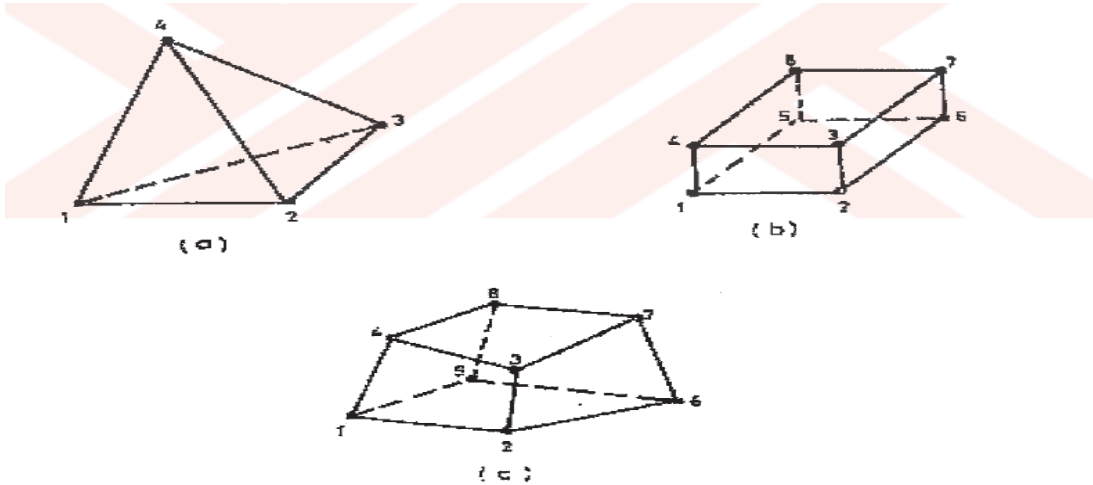
Şekil 4.3 : Üçgen tipi sonlu eleman örneği

Birçok problemlerde iki boyutlu dikdörtgen, iki üçgenli dikdörtgen, dörtgen elemanı ve dört üçgenli dörtgen elemanı tipi sonlu elemanlar da kullanılmaktadır. Şekil 4.3'te yukarıda bahsi geçen değişik iki boyutlu dörtgen sonlu eleman tiplerine örnekler soldan sağa doğru verilmiştir [26].



Şekil 4.4 : İki boyutlu değişik dörtgen geometri biçimli sonlu elemanlar

Eksenel simetrik cisimlerde kesiti üçgen veya dörtgen olabilen üç boyutlu sonlu elemanlar kullanılır. Katı cisimlerin mekanikinde üç boyutlu elemanların rolü büyüktür.



Şekil 4.5 : Üç boyutlu sonlu elemanlar

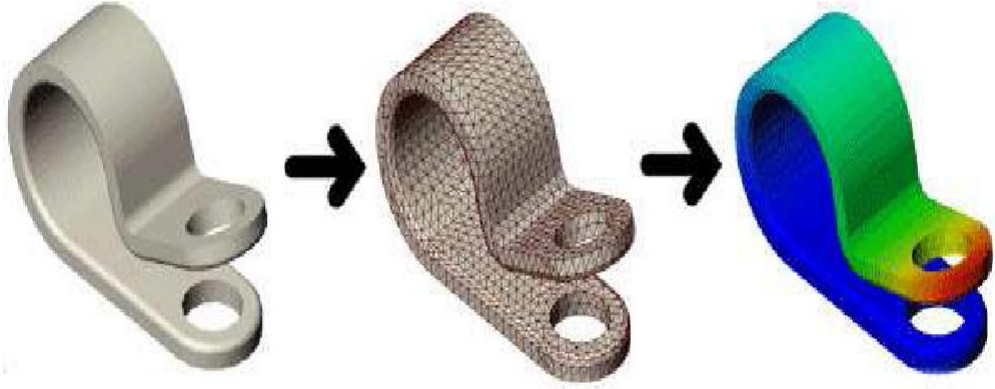
4.6 Sonlu Elemanlar Metodunda Paket Program Kullanımı

Karmaşık ve çözülmesi uzun zaman alan problemlerin bilgisayarlarda çözülmesi hem zaman tasarrufundan hem de işlemin daha doğru sonuçlar vermesi bakımından çok önemlidir. Bilgisayarlarda, Sonlu Eleman Metodu çeşitli paket programlar vasıtasıyla basit bir şekilde modelleme yapılmakta, daha sonra bu modeller küçük sonlu elemanlara bölünerek analizler yapılmaktadır.

Sonlu Elemanlar Metodu uygulamaları için günümüzde ön plana çıkan yazılımlar ANSYS, ABAQUS/CAE, FLUENT, NASTRAN&PATRAN, LINFLOW vs.dir.

Bu yazılımların çoğunda modelleme paketleri bulunmaktadır. Fakat söz konusu modelleme paketleri karmaşık geometrileri oluşturmakta zorlanmakta ve bunun yanında kullanım pratikliği açısından ileri düzeyde değildir. Bu sebeplerden dolayı problemlerin modellenmesi için Unigraphics NX, Solidworks, Catia, AutoCAD, ProEngineer gibi paket programlar hazırlanmıştır.

Son yıllarda ANSYS, adından sıkça bahsedilmeye başlanan yazılımdır. Özellikle statik gerilme problemlerinin çözümü ve hatırı sayılır şekilde dinamik problemlerin çözümünde gösterdiği başarı kayda değer seviyelerdedir. Genel-geçer olma özelliğini de kazanmış olmanın verdiği güvenle sürekli geliştirilmekte ve en iyiye doğru ilerlemektedir. Bu sebeplerden dolayı tez çalışmasında ANSYS programı kullanılmıştır.



Şekil 4.6 : Geometrik model, sonlu eleman modeli ve sonuçları [27].

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında çamaşır makinesi tamburu hakkında belirlenen problem çerçevesinde dengesiz yük testi, kalıp çalışmaları ve kalınlık parametresi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Gerçekleştirilen değişiklikler ile tambur arka sacında oluşan dalgalanma ve yırtılmaların giderilmesi amaçlanmıştır.

5.1 Malzeme

Proje çerçevesinde gerçekleştirilen dengesiz yük testinde osilasyon grubu malzeme olarak kullanılmaktadır. Tez çalışmasının ikinci bölümünde tanıtılan osilasyon grubunda kazan, tambur, beton ağırlıklar, tambur yıldızı, perdeler, kayış – kasnak düzeneği, elektrik motoru, yaylar ve amortisörler bulunmaktadır.

Bu kapsamda problemin gerçekleştiği tambur hakkında detaylı malzeme bilgisi verilmelidir.

Tambur; ön sac, çevre sacı ve arka sac temel elemanlarından oluşmaktadır. Bu elemanların üretiminde paslanmaz çelik kullanılmaktadır. Tambur saclarının tümü 0.4 mm kalınlığa sahiptir.

5.1.1 Paslanmaz çelik hakkında genel bilgiler

Bileşiminde en az %10,5 Krom içeren, çevresel ve korozyon koşullarında paslanmayan ve yüksek sıcaklıklara dayanabilen çeliklere paslanmaz çelikler denir. Bu çeliklerin yüksek korozyon dayanımını sağlayan asıl unsur; yüzeye kuvvetle tutunmuş çok ince ve saydam bir oksit tabakasının varlığıdır. Çok ince olan bu tabaka sayesinde paslanmaz çelikler, kimyasal reaksiyonlarda pasif davranarak korozyona karşı dayanım kazanırlar. Söz konusu oksit tabakası, oksijen bulunan ortamlarda oluşur ve dış etkilerle (kesme, aşınma, talaşlı imalat, vb.) bozulsa dahi kendini onararak eski özelliğine tekrar kavuşur. Çeşitli alaşım elemanlarının değişik ortamlarda katılması ile birbirinden farklı yapılar gösteren paslanmaz çelikler ortaya çıkmıştır.

Krom miktarı yükseltilerek veya nikel ve molibden gibi alaşım elementleri katılarak korozyon dayanımı artırılabilir. Bunun dışında bakır, titanyum, alüminyum, silisyum, niyobyum, azot, kükürt ve selenyum gibi bazı elementlerle alaşımlama yapılarak ilave olumlu etkiler sağlanabilir. Bu şekilde makine tasarımcıları ve imalatçıları, değişik kullanımlar için en uygun paslanmaz çeliği seçme şansına sahip olurlar. Paslanmaz çeliklerde içyapıyı belirleyen en önemli alaşım elementleri önem sırasına göre krom, nikel, molibden ve mangandır. Bunlardan öncelikle krom ve nikel içyapının ferritik veya östenitik olmasını belirler [28].

Paslanmaz çeliklerde karbon %0,01 ile %1,2 arasında olabilir, düşük karbon miktarları daha tipiktir, yüksek oranlar martenzitik çeliklerde söz konusudur. Çünkü bu paslanmaz çeliklerde karbonun varlığında krom karbür oluşur ve genellikle tane sınırlarında krom karbür olarak çökeler, bu nedenle kafes içinde çözünmüş krom miktarı %10,5'lik sınırın altına düşebilir ve malzemenin korozyona dayanıklılık özelliği kaybolur. Dolayısıyla çelik bileşimindeki karbon yüzdesi yükseldikçe, krom miktarı artırılmalı veya karbür yapma eğilimi kromdan fazla olan elementler katılarak krom karbürün meydana gelmesi ve kafeste çözünmüş kromun azalması engellenmelidir (stabilize etme) [28].

Genel olarak mikro yapılarına göre paslanmaz çelikler, genel olarak 4 farklı grup altında incelenmektedir. Bunlar; ferritik, martenzitik, dubleks ve östenitik çelikler olarak adlandırılmıştır.

Söz konusu tez kapsamında bir ferritik paslanmaz çelik örneği olan AISI 430 çeliği kullanılmıştır.

5.1.2 Ferritik paslanmaz çelikler

Ferritik paslanmaz çelikler %12-30 krom ve %0,12' den daha az karbon içeren ferritik mikro yapılı çeliklerdir. Ferritik kaliteler AISI' de 400 serisi olarak adlandırılır. En belirgin özellikleri yüksek korozyon dirençleridir. Su verme ile martenzitik dönüşüm göstermemektedirler. Yüksek miktarda krom dışında az miktarda östenit yapıcı olarak azot veya nikel de bulunabilir. Özel kullanım alanları, büyük ölçüde krom içeriğinin seviyesine bağlıdır. Düşük kromlu kaliteler, yaygın olarak otomotiv egzoz sistemlerinde kullanılmaktadır. Orta seviyede krom içeren kaliteler (yaklaşık %17 krom) ise geniş ölçüde ev aletlerinde kullanılır.

Yüksek kromlu kaliteler, daha yüksek korozyon ve oksidasyon direnci gerektiren uygulamalarda kullanılmaktadır.

Ferritik paslanmaz çelikler kullanım yerlerine göre değişen krom miktarlarına bağlı olarak 3 gruba ayrılabilir.

Bunlar;

- Krom miktarı %11-13 arasında olanlar (AISI 405 ve 409 kaliteleri)
- Krom miktarı yaklaşık %17 olanlar (AISI 430 ve 434 kaliteleri)
- Krom miktarı %19-30 olan ve yüksek kromlu olarak isimlendirilenler (AISI 442 ve 446 kaliteleri)

Ferritik paslanmaz çeliklerin genel olarak özellikleri;

- Üstün korozyon direncine sahiptirler.
- Orta derecede şekillenebilme kabiliyetleri vardır.
- Deformasyon sertleşmesiyle mukavemetleri artırılır.
- Nikel içermediklerinden nispeten ucuzdurlar.
- Manyetik özellik gösterirler.
- Düşük tokluğa sahiptirler.
- Gevrekleşme hassasiyetleri yüksektir.
- Kafes yapısı hacim merkez kübiktir.

Yüksek kromlu ferritik paslanmaz çelikler ferromanyetiklerdir. Soğuk olarak makul şekilde doğrultulabilmektedirler. Bunların dövme ve sıcak haddeme özellikleri martenzitik paslanmaz çeliklerden daha iyidir. Sıcak işleminden sonra kırılma tehlikeleri olmadan havada soğutulabilmektedirler. Mekanik işleme özellikleri düşük karbonlu çeliklere benzer. Bu çelikler kolayca kaynak edilebilirler. Ama yüksek kromlu çelik olduklarından kaynak bölgesinde tane büyümesi ve gevreklik görülmemesi için, kaynak işleminden sonra normalize edilerek esneklik kazandırılmalıdır. Ferritik paslanmaz çeliklerden %16-18 Cr' luları korozyona dirençli olarak geniş çapta kullanılmaktadır. Temiz ya da kirli atmosferlerde çok uzun ömürlüdür. Hareketli deniz suyu, çeşitli sıcaklıklarda tuzlu sular, zayıf asitler ve 60-70 °C' ye kadar nitrik asit karşısında başarılı olarak kullanılmaktadırlar [29].

5.1.3 AISI 430 çeliği

AISI 430 (DIN 1.4016) çeliği, ferritik paslanmaz çelikler sınıfına giren düşük karbonlu ve krom içerikli bir malzemedir. Nikel ve molibden içermediklerinden dolayı 300 serisi paslanmaz serisi çeliklerden daha ucuzlardır. Yine nikel içermediğinden dolayı mıknatıslama işlemi gerçekleştirebilir. Düşük karbon oranı sebebiyle ısıtılma işlemi tabi tutulamazlar. Kimyasal ortamlarda kullanılması durumunda nitrik asit etkilerine karşı dayanıklı olduğundan avantaj getirebilirler. Genel olarak kullanışlı mekanik özelliklere sahip olan bu tip çelikler, iyi forma giren bir karaktere sahiptirler.

Çizelge 5.1 : AISI 430 çeliğinin kimyasal kompozisyonu

Kalite		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	N
430	min.	-	-	-	-	-	16.0		
	max.	0.12	1.00	1.00	0.040	0.030	18.0	-	-

Çizelge 5.2 : AISI 430 çeliğinin mekanik özellikleri

Kalite	Çekme Dayanımı (MPa) min	Akma dayanımı 0.2% Proof	Uzaman (% in 50mm) min	Sertlik	
				Rockwell B (HR B) max	Brinell (HB) max
430	450	205	22	89	183

Çizelge 5.3 : AISI 430 çeliğinin fiziksel özellikleri

Kalite	Yoğunluk (kg/m ³)	Esneklik Katsayısı (GPa)	Isıl Genleşme Katsayısı			Isıl İletkenlik		Özgül Isı 0-100 °C (J/kg.K)
			(mm/m/°C)			(W/m.K)		
			0-100°C	0-315°C	0-538°C	at 100°C	at 500°C	
430	7750	200	10,04	11.0	11,04	23,09	26.0	460

Çizelge 5.4 : AISI 430 çeliğinin diğer ülke normları

Kalite	UNS No	Old British		Euro Norm		Swedish SS	Japanese JIS
		BS	En	No	Name		
430	S43000	430S17	60	14.016	X8Cr17	2320	SUS 430

5.1.4 Tamburun üretimi

Tambur temel 3 elemandan oluşmaktadır. Bunlar ön sac, çevre sacı ve arka sactır. Perdeler, tambur yıldızı ve vidalar ise yardımcı elemanlar olarak görev almaktadırlar.

Tambur arka sacının üretimi sac rulosunun hatta girişi ile başlar. Doğrultma işlemi uygulanan saclar dikdörtgen şeklinde kesilerek derin çekme kalıplarına gönderilir. Ardından son kesme işlemi ile birlikte arka sacın üretimi tamamlanır.

Arka sac hattına paralel çalışan ön sac hattında da benzer prosesler gerçekleştirilmektedir. Doğrultma ve kesme işlemlerinin ardından derin çekme kalıplarında işlem gören ön sac, pul delme işlemi ile temel formunu alır. Fazla parçaların kesilmesiyle kullanıma hazır hale gelir.

Aynı temel proseslerden geçen çevre sacında ise farklı olarak su girişinin sağlandığı deliklerin açılması ve perdelerin takılması işlemi söz konusudur.

Montaj hattında çevre sacı, arka sac ve ön sac ile kenetlenme işlemi sonucunda birleşerek tamburu oluşturur. Tambur yıldızının da vidalar yardımıyla takılması ile tambur son halini alır.



Şekil 5.1 : Rulo yükleme işleminin gerçekleşmesi



Şekil 5.2 : Doğrultma işleminin gerçekleşmesi

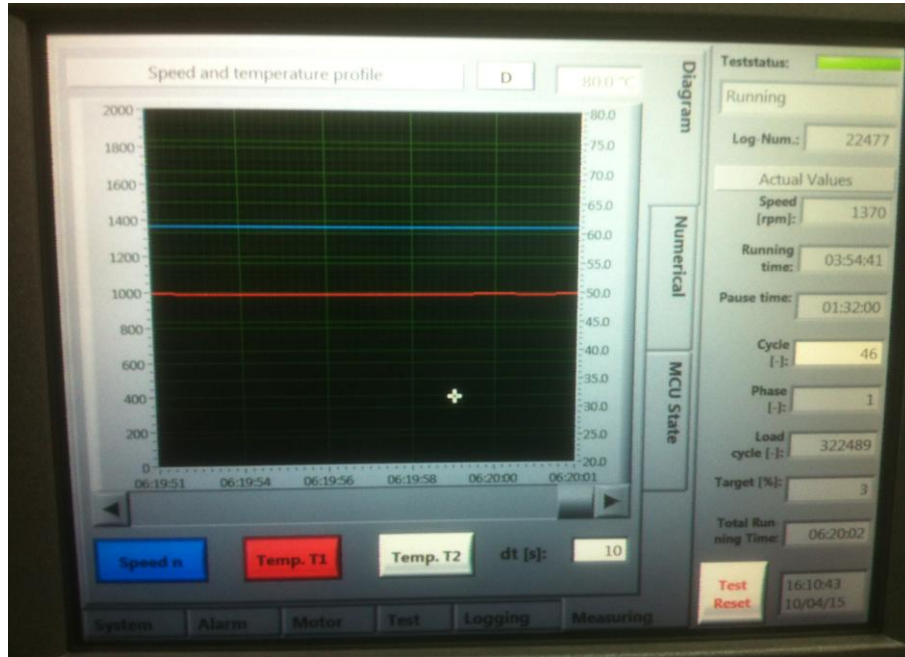


Şekil 5.3 : Derin çekme ve kesme işleminin gerçekleştiği kalıplar

5.2 Dengesiz Yük Testi

Dengesiz yük testi, çamaşır makinesinin osilasyon grubunun dengesiz yükleme koşulu altında ortalama sıcaklık şartlarında hayat boyu (genel anlamda 10 senelik bir süreç öngörülmektedir) çalışılacağı düşünülerek yapılan, osilasyonda ki bağlantı ve birleşim noktalarının test edilmesini içeren bir test çeşididir. Bu test ile beraber yataklama burcu, rulmanlar, tambur, tambur bağlantıları, motor bağlantıları, beton bağlantıları, kasnak bağlantıları gibi hem dönen hem yük taşıyan parçaların durumları görülebilmektedir. Özellikle hayata geçirilmeye çalışılan projelerde, parça üzerinde yapılması planlanan teknik değişikliklerde dengesiz yük testi önemli veriler ortaya koymaktadır. Ortaya çıkacak verilerin ışığında problem görülen noktalarda iyileştirme çalışmalarına gitmek mümkündür.

Test makineleri sahip olduğu devir hızı doğrultusunda spesifikasyonlara uygun bir şekilde çalıştırılarak sonuçların görülebilmesi amaçlanır.



Şekil 5.4 : Dengesiz yük testi bilgisayar ara yüzü

Testin uygulanması esnasında tamburun içerisine dengesiz yükler çift taraflı bantlar ile yapıştırılır. Söz konusu dengesiz yüklerin değerleri yapılan gözlemler ve elde edilen tecrübeler ile belirlenmiştir. Genel olarak bu değerler 200 gr ila 2000 gr arasında değişebilmektedir. Yukarıda bahsedildiği üzere devir hızına göre yüklerin belirlenmesi gerçekleşir.

5.3 Problemin Tanımlanması

1400 dev/dak ile çalışan amaşıır makinelerde tambur arka sacında evre sacı ile birleşim noktalarına yakın koordinatlarda yırtılmalar ve dalgalanmalar görülmektedir. Üretimden çıkan tamburlarda gözle fark edebilecek büyüklüklerde olan dalgalanmalar dengesiz yük testi uygulanmasıyla beraber daha da büyümekte, belirli bir zamandan sonra ise yırtılmaları oluşturmaktadır.



Şekil 5.5: Dengesiz yük testi sonucu görülebilen dalgalanmalar



Şekil 5.6: Dengesiz yük testi sonucu oluşan yırtıklar

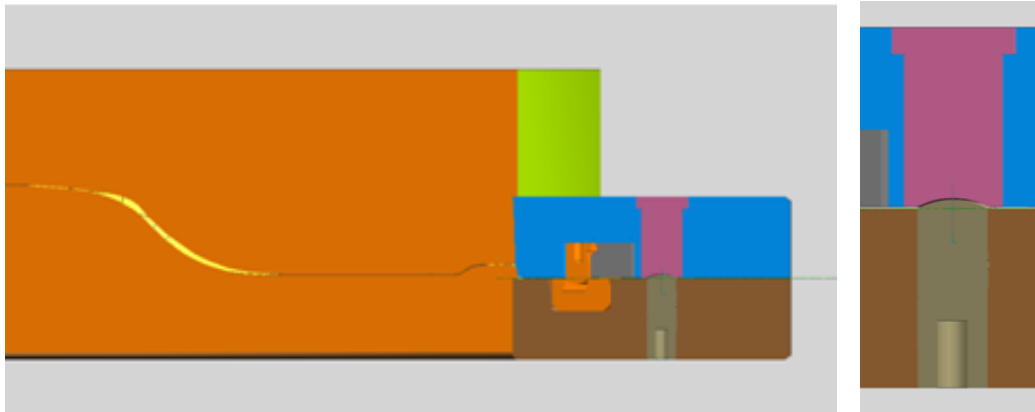
Proje başlangıcında tespit edilen bu problemde testin tamamlanma yüzdesi olarak %21.4'lük aşamada dalgalanmalar iyice belirginleşmiş, %50.3'te ise dalgalanmalar yırtılmalara dönüşmüştür.

5.4 Kalıp Çalışmaları

İki yüzölü kalıplarda alt ve üst kalıbın birbirine göre eksenel kaçıklıklarını önlemek için alınan tedbirlere merkezleme denmektedir. Kalıp üst yüzeyine yapılan baskının düzensiz bir akıştan çıkıp homojen hale gelmesini sağlamak ve kaymaların önlenmesini gerçekleştirmek için merkezleme işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Tambur arka sacında yüksek gerilmelerin oluşturduğu dalgalanma ve yırtılmaların, üretim esnasında derin çekme kalıplarında meydana gelen düzensiz baskılardan meydana gelebileceği öngörülmüştür. Bu kapsamda merkezleme pimleri ile homojen bir dağılım ve olası kaymaların önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

- Kalıbın üst ve alt deliklerine 4'er adet pim delikleri açılmıştır. Pim delikleri delinirken alt ve üst kalıplar birlikte delinerek, markalama ve ölçü almada oluşabilecek kaymalar önlenmiştir.
- Pimleri uç kısımları hafifçe konikleştirilerek üst kalıba girme esnasında sürtünme seviyesinin en az seviyeye indirilmesi amaçlanmıştır.
- Üst kalıp pim deliği elips hale getirilerek kalıp içerisine konulacak sıcak gerecin rahatça yayılmasına imkan sağlanmıştır.
- 4 adet pim alt kalıba sıkı bir biçimde takılmıştır.



Şekil 5.7: Kalıp düzeneği şematik gösterimi



Şekil 5.8: Üst kalıp eski ve yeni hali



Şekil 5.9: Alt kalıp eski ve yeni hali

Yapılan kalıp iyileştirme işlemi sonucunda tamburun üretiminin ardından oluşan dalgalanmalarda ciddi azalmalar gözlemlenmiştir. Fakat dengesiz yük testinin uygulanması ile % 37.6’da dalgalanmalar yine belirginleşmiş % 70.7’lik değerde ise yırtılmalar oluşmaya başlamıştır. Merkezleme pimlerinin kullanımı sonuçlarda belirli bir iyileşmeyi beraberinde getirirse de bu durum istenilen seviyede değildir.



Şekil 5.10: Merkezleme pimlerinin kullanımı ile üretilen arka sac numunesi



Şekil 5.11: Dengesiz yük testi sonucu % 70.7’de görülen yırtılma

5.5 Kalınlık parametresinin değiştirilmesi

0.4 mm kalınlık değeri ile üretilen tambur saclarının ömrünün beklenen düzeyi karşılamaması üzerine kalınlık parametresinde artışa gidilmesi düşünölmüştür. Bu kapsamda belirlenen yeni değer 0.5 mm olmuştur. Yeni kalınlık değeri ile üretilen tambur arka saclarında herhangi bir dalgalanma görölmemiş olup, dengesiz yük testinin de tamamını tamamlamış ve herhangi bir dalgalanma ve yırtılmaya rastlanmamıştır.



Şekil 5.12: 0.5 mm kalınlık ile üretilen tambur numunesi



Şekil 5.13: Çalışılan bölgede dengesiz yük testinin ardından oluş an son durum

5.6 Sonuçların Karşılaştırılması

Çizelge 5.5: Test varyasyonlarının karşılaştırılması

Numune Varyasyonları	Dalgalanmaların Görülmesi	Yırtılmaların Görülmesi	Testin Başarı Durumu
0.4 mm kalınlık	% 21.4	% 50.3	Başarısız
0.4 mm kalınlık ve merkezleme pimi kullanımı	% 37.6	% 70.7	Başarısız
0.5 mm kalınlık ve merkezleme pimi kullanımı	Dalgalanma gözlemlenmedi	Yırtılma gözlemlenmedi	Başarılı

6. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZLER

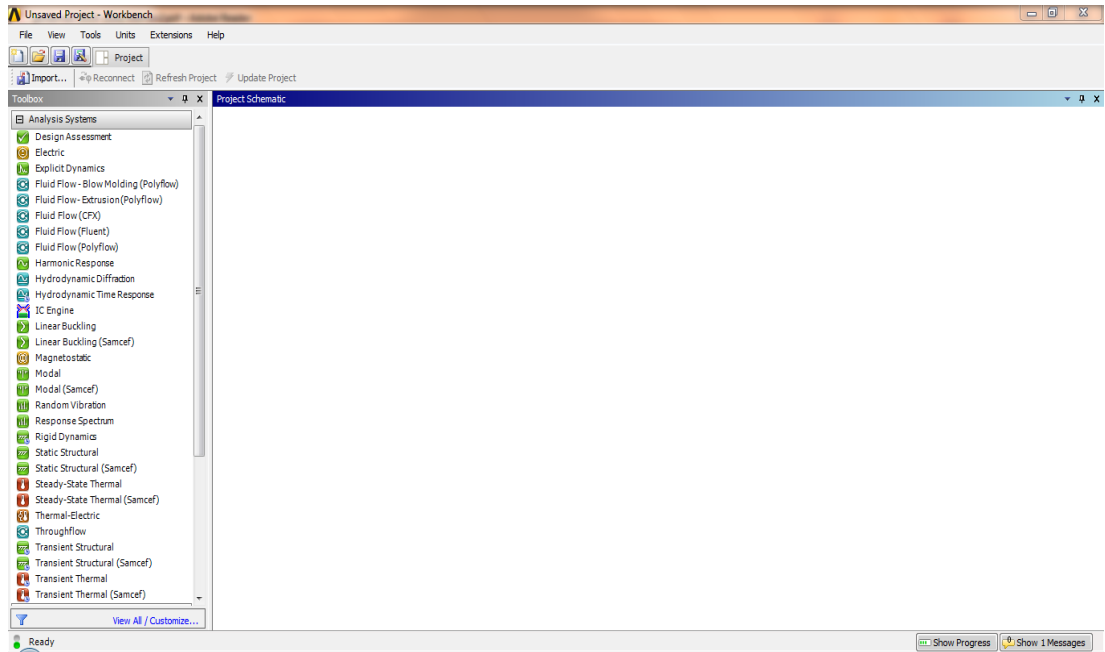
Bu bölümde sonlu elemanlar metodunun, tambur arka sacı analizinin ANSYS Workbench yazılımı vasıtasıyla nasıl kullanılacağı incelenmiş olup, işlem adımları sırasıyla gösterilmiştir.

6.1 Ansys 15.0 Workbench Programının Çalıştırılması

Solidworks yazılımı kullanılarak oluşturan, analizin daha doğru bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için basitleştirilen üç boyutlu tambur modeli ANSYS Workbench 15.0.7 sonlu elemanlar yazılımına aktarılır. Program bilgisayar ortamına kurulduktan sonra açmak için aşağıdaki yol takip edilir.

Başlat > Programlar > Ansys 15.0 > Workbench 15.0

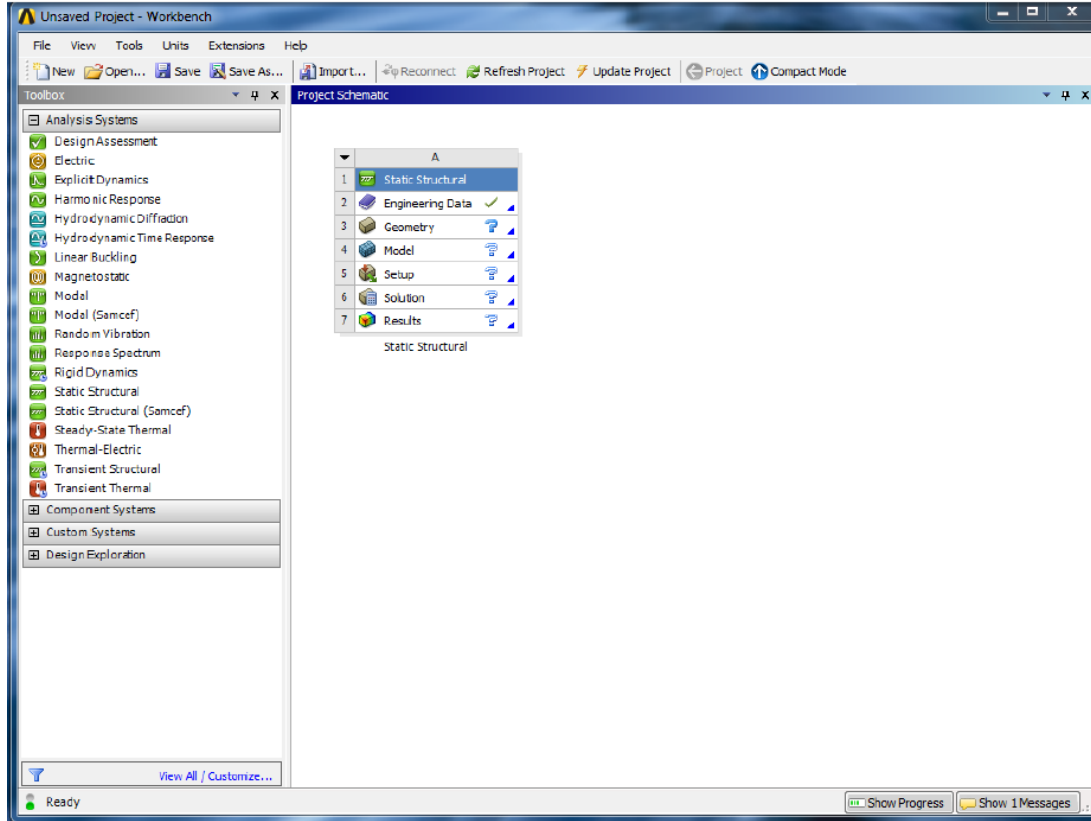
Program açıldığında Şekil 6.1'deki pencere gelir.



Şekil 6.1 : Workbench 15.0 ana penceresi

Ana pencerenin sol tarafında “Analysis Systems” sekmesinde yazılımla yapılabilecek analizler yer almaktadır. Statik analiz, dinamik analiz, elektrik, termal analiz vs. gibi analizler yapılabilmektedir. Bu çalışmada analizler “Static Structural” modunda yapılmıştır.

“Static Structural” modunda çalışmaya başlamak için sekmede yer alan “Static Structural” bağlantısı sağa sürüklenip bırakılır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 : Static structural modu

Açılan pencerede sırasıyla şu sekmeler ekrana gelmiştir:

Engineering Data: Bu sekmeye çift tıklanarak girildiği zaman analizde kullanılacak malzeme seçimi yapılmaktadır.

Geometry: Bu sekmeye girildiği zaman programa aktarılan geometri ekrana gelir ve program geometride değişiklikler yapmaya olanak sağlar.

Model: Bu sekmeye girildiği zaman model üzerine uygulanacak yükler, kontak oluşturma, ağ yapısının oluşturulması, desteklerin belirlenmesi gibi işlemler yapılır.

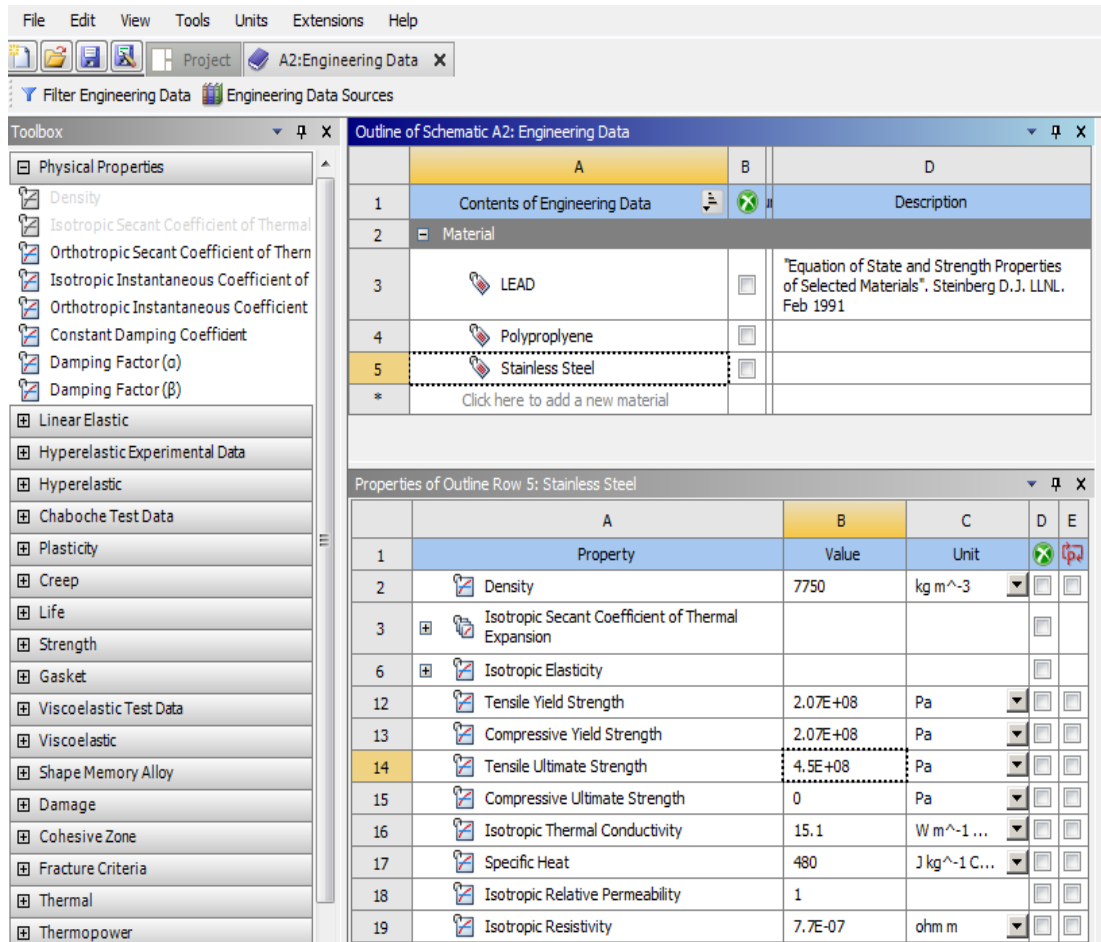
Setup: Bu bölümde modele uygulanacak yükler belirlenir.

Solution: Analiz koşturma sonucunda hesaplanacak olan değerlerin (gerilme, deplasman gibi) belirlendiği kısımdır.

Results: Bu kısımda analiz sonuçları görüntülenir.

6.2 Malzeme Özelliklerinin Atanması

Engineering Data butonuna tıklandığında projenin verileri ile ilgili bir pencereler sistemi açılır ve buradan malzeme özellikleri ANSYS programının atadığı gibi kullanılabilir ya da yeni veri girişleri yapılabilir (Şekil 6.2). Program standart olarak malzemeyi yapı çeliği olarak belirler. Eğer başka bir malzeme kullanılacaksa, listeden ilgili malzeme seçilerek gerekli değişiklikler yapılmalıdır. Bunun haricinde manuel olarak da malzeme özellikleri belirlenebilmektedir.



Şekil 6.3 : Malzeme özelliklerinin girildiği ara yüz

Tambur Bölüm 5’te bahsedildiği üzere AISI 430 paslanmaz çeliğinden imal edilmiş olup (Çizelge 5.2), perdelerin üretiminde ise polipropilen kullanılmaktadır. Polipropilen, otomotiv sanayinde kullanılan parçalardan, tekstil ve yiyecek paketlenmesine kadar çok geniş kullanım alanı olan termoplastik bir polimerdir. Monomer propilenin polimer hale getirilmesi ile elde edilen polipropilen kimyasal solventlere (asit ve bazlar) karşı aşırı derecede dirençlidir. Polipropilen, yorulmaya karşı çok iyi direnç gösterir. Düşük maliyetlidir, iyi bir darbe dayanımı vardır. Sürtünme katsayısı düşük olup, çok iyi elektrik yalıtımı sağlar.

Çizelge 6.1 : Polipropilen mekanik özellikleri

	Norm	Değer	Yüzde Sapma	Birim
Yoğunluk	ISO 1183	1,05	-	g/cm ³
Sertlik	ISO 868	77	± 2	Shore D
Elastisite Modülü	ISO 527	2500	± 10 %	MPa
Çekme Dayanımı	ISO 527	32	± 10 %	MPa
Yüzde Uzama	ISO 527	> 11	± 10 %	%

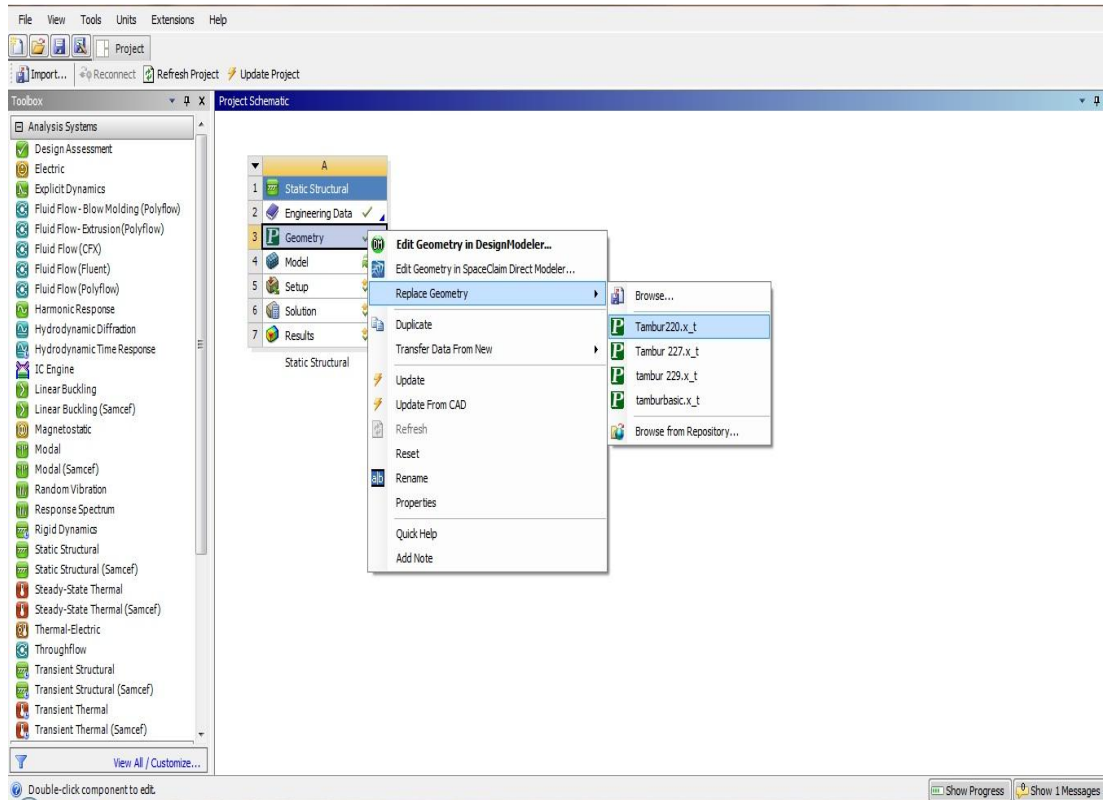
Bunlarla beraber dengesiz yükün yoğunluğu için hacmi hesaplanarak uyarılama yapılmıştır. Dengesiz yükler kurşundan imal edilmektedir. Kurşunun öz kütlesinin 11.4 g/cm³ olduğunu ele alırsak 1000 g’lık bir yük için 88495 mm³’lük bir hacim gerekmektedir. Yükün boyutları bu kapsamda oluşturulmuştur.

Çizelge 6.2 : Kurşun mekanik ve malzeme özellikleri

Özgöl ağırlık	11.4
Ergime noktası [°C]	327
Akma mukavemeti [Mpa]	0.3
Çekme mukavemeti [Mpa]	1.5
Uzama [%]	60
Sertlik [HB]	5
Isıl iletkenlik cal/cm °C s	0.082
Elektrik öz direnci mm ² /m	21
Isıl genleşme katsayısı [mm/mm °C] 10 ⁶	29.5

6.3 Geometrinin ANSYS Yazılımına Aktarımı

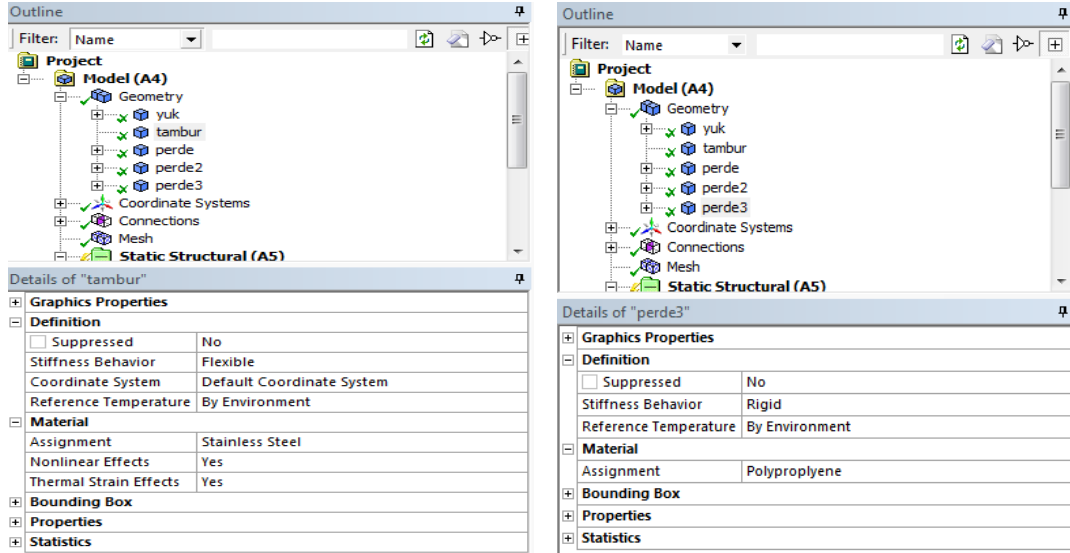
Malzeme özelliklerinin girilmesinin ardından, “geometry” sekmesine sağ tıklanır ve “import geometry” kısmından, Solidworks paket programıyla hazırlamış olduğumuz geometri çağırılır.



Şekil 6.4 : Geometrinin ANSYS’e aktarılması

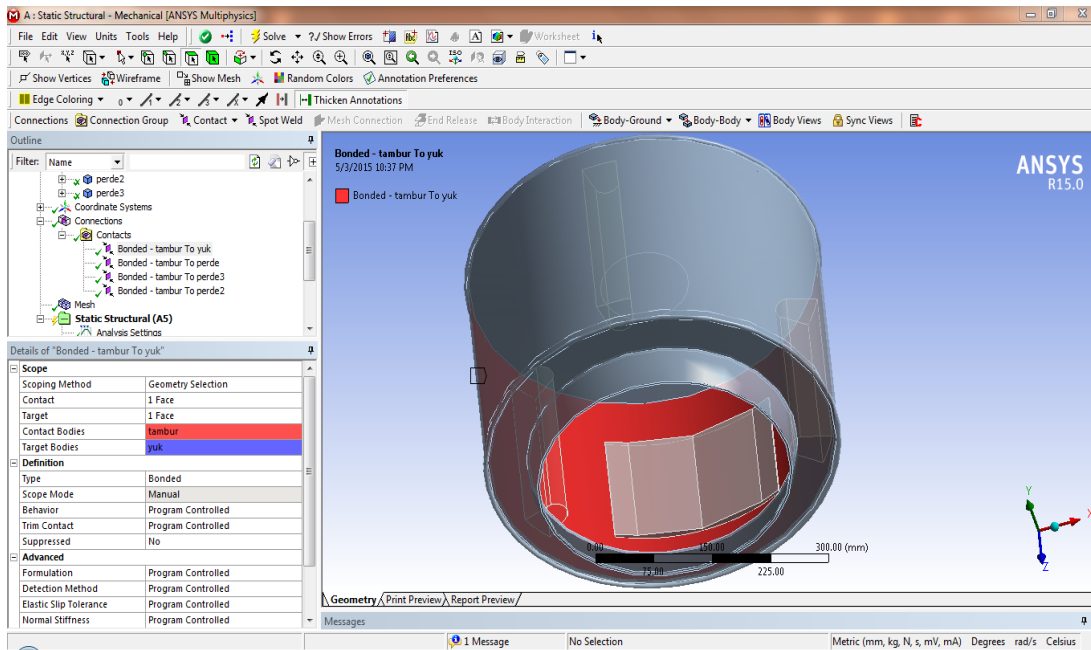
6.4 Modelin Oluşturulması

Bu aşamaya geçiş için “model” sekmesi çift tıklanır. Burada “geometry” kısmında oluşturduğumuz model karşımıza gelir. Öncelikle tambura ‘flexible’, perdeler ve yüke ise ‘rigid’ özelliği ile daha önce belirlenen malzeme özellikleri atanır.



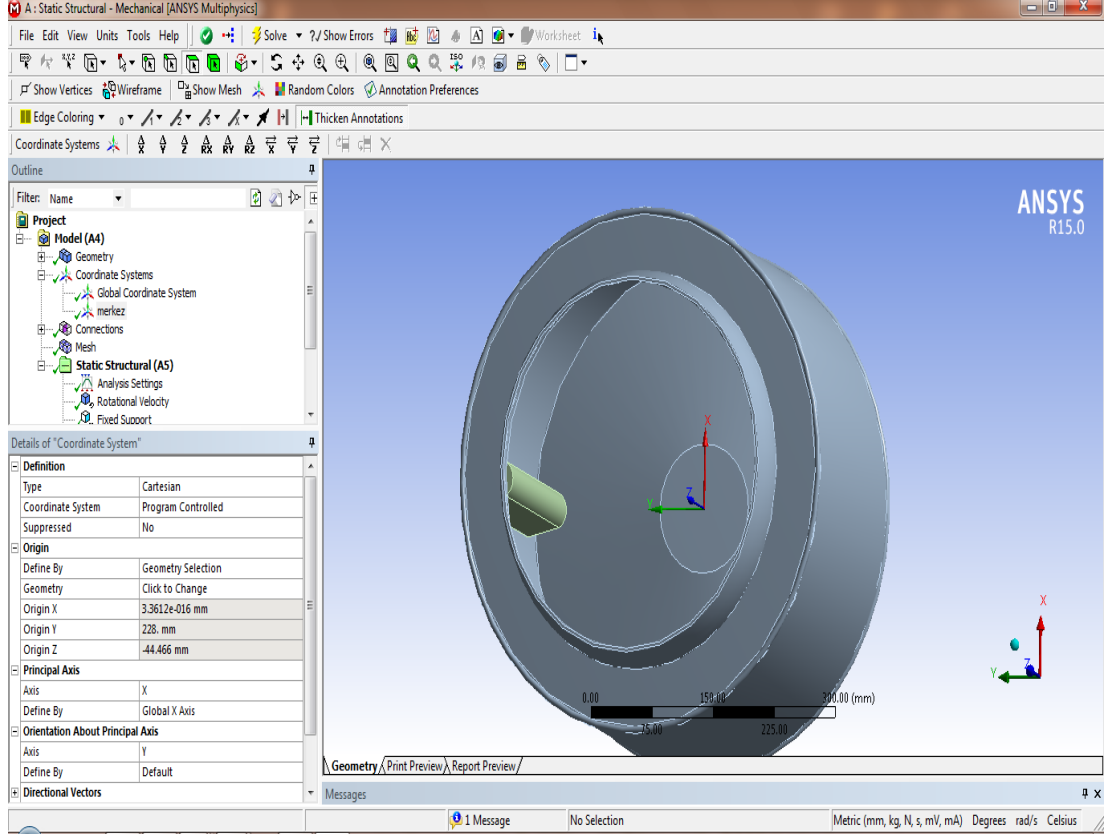
Şekil 6.5 : Malzeme özelliklerinin geometriye atanması

Bunun akabinde, kontakların oluşturulması ve kontak tiplerinin belirlenmesi gerekmektedir. Tambur ile perdelerin ve tambur ile yükün bağlantıları gereken yüzeyler seçilerek ‘bonded’, birbiriyle sabit parçalar olarak girilir.



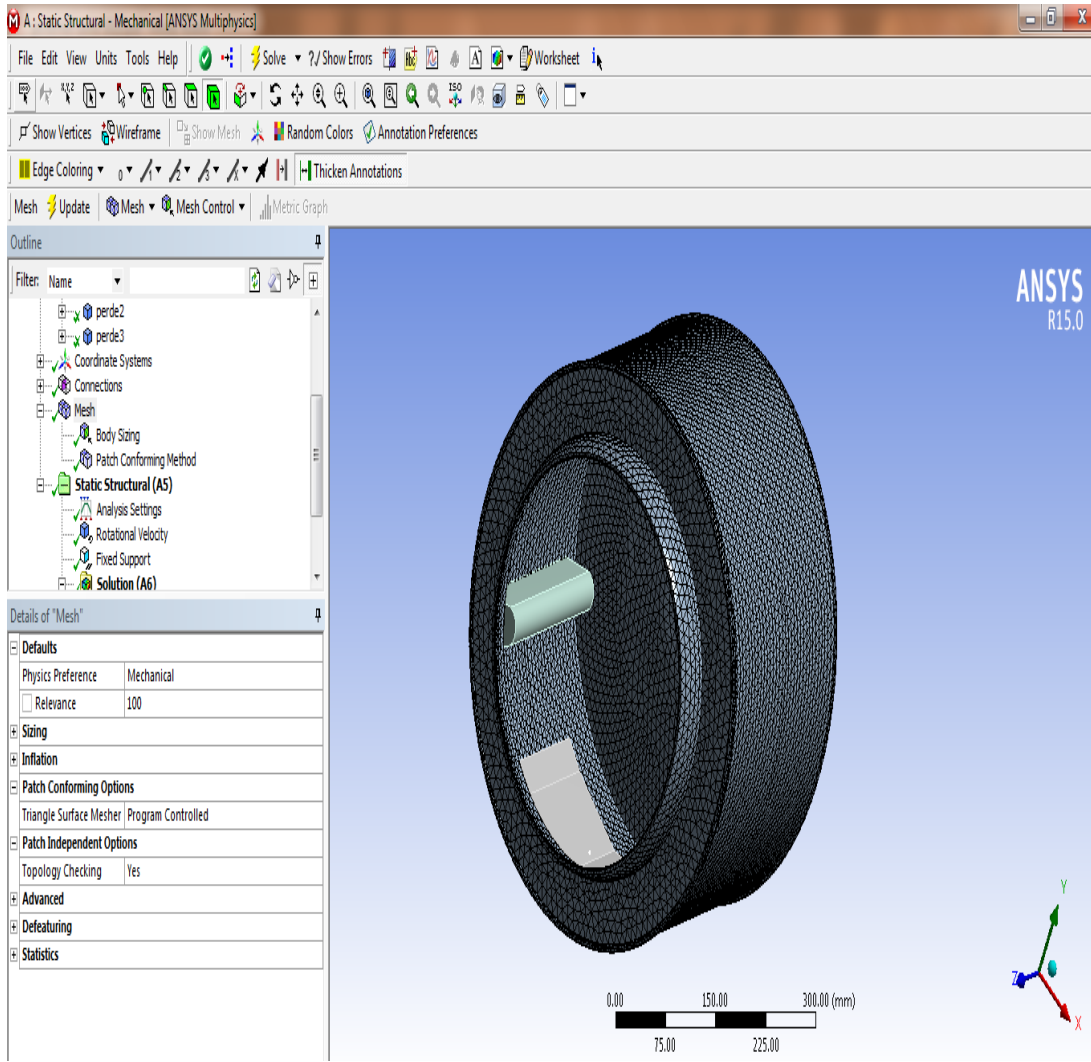
Şekil 6.6 : Kontakların belirlenmesi

Tambur, tam ortasından geçen sanal bir eksen etrafında döneceği için, bu eksenin belli edebilme adına, bir eksenin tam tamburun ortasından geçecek şekilde yeni bir koordinat sistemi oluşturulur.



Şekil 6.7 : Yeni koordinat merkezinin oluşturulması

Kontakların belirlenmesinden sonra çözümün doğruluğu açısından hayati öneme sahip olan ağ örgüsü oluşturulmuştur. Bu maksatla ağ örgüsü oluşturulmadan önce ağ örgüsünün boyutlandırılması “sizing” komutu ile yapılmıştır. Bu işlem hem ağ örgüsünün kalitesini arttırmakta hem de daha hassas değer görmek istediğimiz yerlerin ağ yapısını sıklaştırmaya yaramaktadır. Katı cisimlerin yapısal analizinde sıkça tercih edilen eleman olan dörtyüzlü ‘tetrahedral’ üç boyutlu eleman parçalara ayırma işleminde kullanılacaktır. Tetrahedral eleman seçimi ‘method’ sekmesi içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bununla beraber ilgililik değeri seçilebilecek en yüksek değer olan 100 seçilmiştir. Çözüm önerilerinden biri olan 0.5 mm kalınlığa sahip tambur için 10 mm, 22 mm ve 37 mm boylarında elemanlar kullanılarak, farklı eleman boyutlarının sonucu nasıl etkileyeceği görülmeye çalışılacaktır. Diğer çözüm önerilerinde ise 10 mm boylu elemanlar kullanılmıştır.



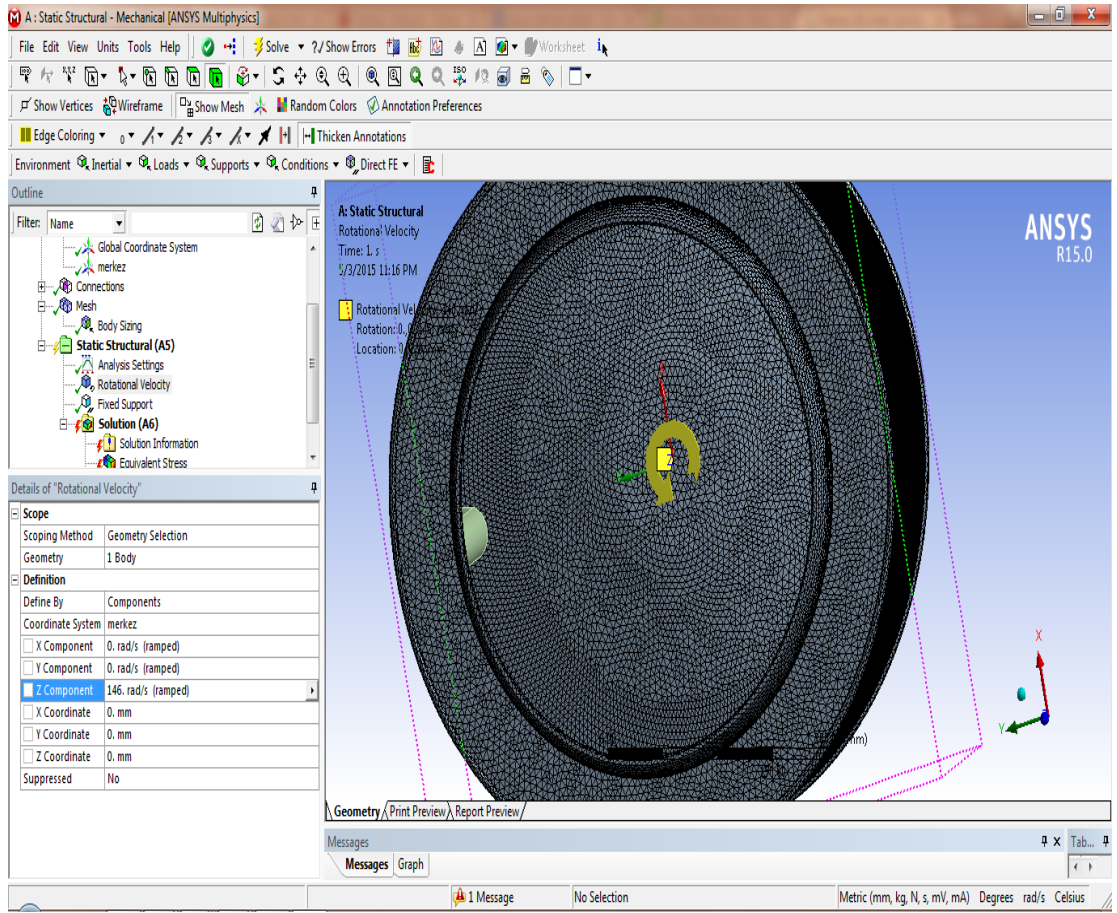
Şekil 6.8 : 10 mm eleman boyuna sahip mesh yapısının oluşturulması

Sonlu eleman ağının kurulmasının ardından, ‘Static Structural’ bölümünde, tambur yıldızının bağlantısının yapılması için arka yüzeydeki sanal bağlantı noktaları seçilerek ‘Fixed Support’ olarak atanır.

Tamburun dönüş hızına göre, ‘Rotational Velocity’ oluşturularak, 1400 dev/dak olarak atanmalıdır.

Workbench kullanılırken dev/dak yerine rad/sn kullanılmalıdır bu yüzden, 146.6 rad/sn olarak giriş yapılmalıdır.

Dönüş hızını girebilmek için, tamburun orta yüzeyinden bir eksen geçecek şekilde oluşturulan koordinat sistemi ve ortasından geçen eksen seçilmelidir. Yapılan bu işlemlerin ardından model çözümlenmeye hazırdır. Modelleme işlemi ile beraber testin uygulanma koşulları gerçeğe uygun bir şekilde gerçekleştirmeye çalışılmıştır.



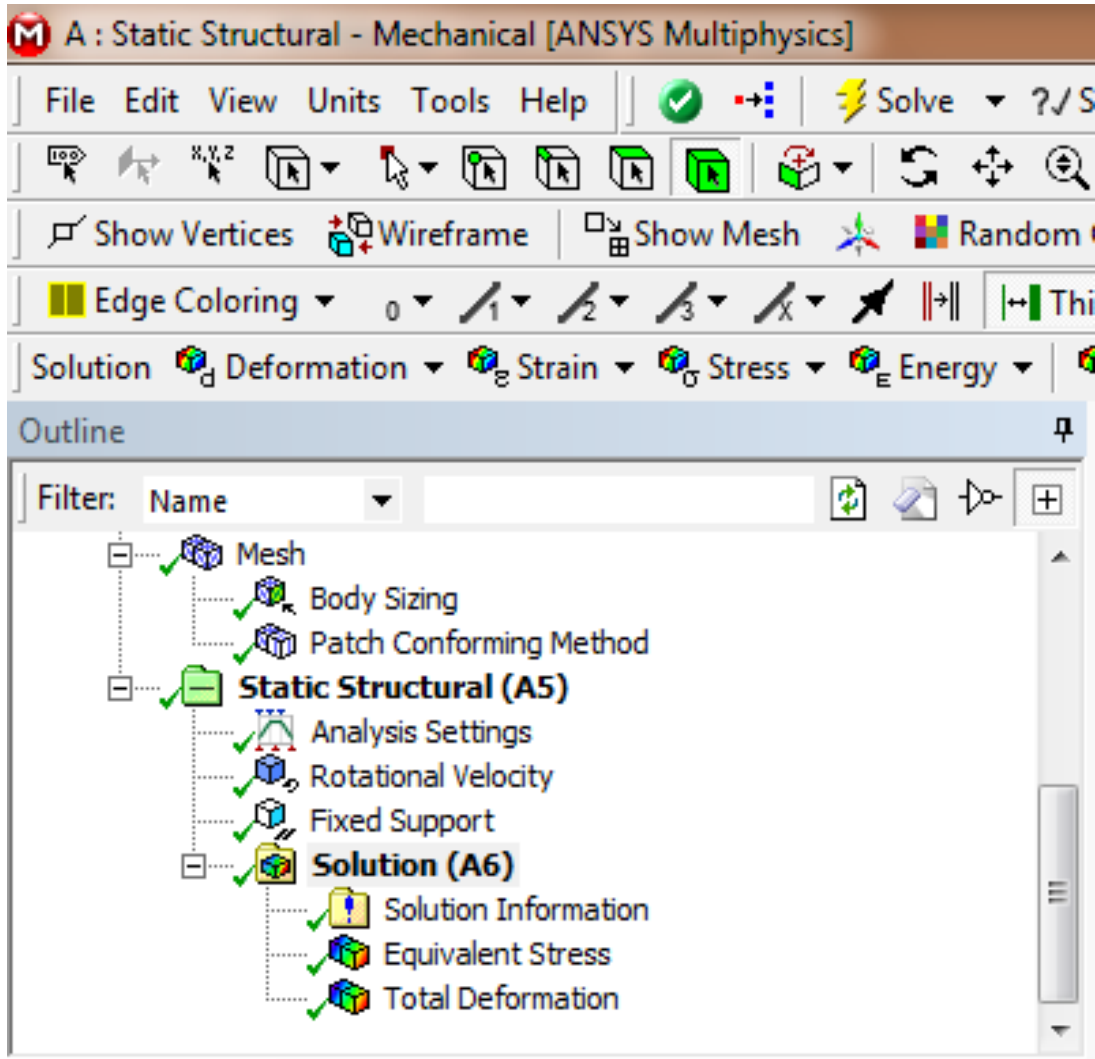
Şekil 6.9 : Dönüş hızının eksene göre girilmesi

6.5 Çözüm ve Sonuçlar

Bu kısma kadar gerçekleştirilen işlemler, modelin analize hazırlanması aşamalarını içermektedir. Model analize eksiksiz olarak hazırlandıktan sonra, *Solution* kısmında ne tür analizler istendiği tanımlanmalı ve hazırlanmış olan sonlu elemanlar problemi çözüme verilmelidir.

Programa, hangi analiz sonuçlarının istendiğini tanımlamak için *Solution>Insert* yolu takip edildikten sonra ekrana gelen menüden gerekli seçimler yapılır. Bu örnek model için Von-Mises (eşdeğer) gerilmeleri, toplam deformasyon analizlerinin çözümü istenecektir (Şekil 6.10). Hangi çözümlerin istendiği belirlendikten sonra *Solution>Solve* komutu kullanılarak çözümleme başlatılır.

Problemin çözümü sona erdiğinde, *Outline* sekmesinde bulunan *Solution* başlığına geri dönülerek daha önce seçimi yapmış olan analiz sonuçları sırasıyla görüntülenebilir. Alt alta sıralanmış olan çözümlerden herhangi birine tıklandığında sonuç, ekrana yansımaktadır.



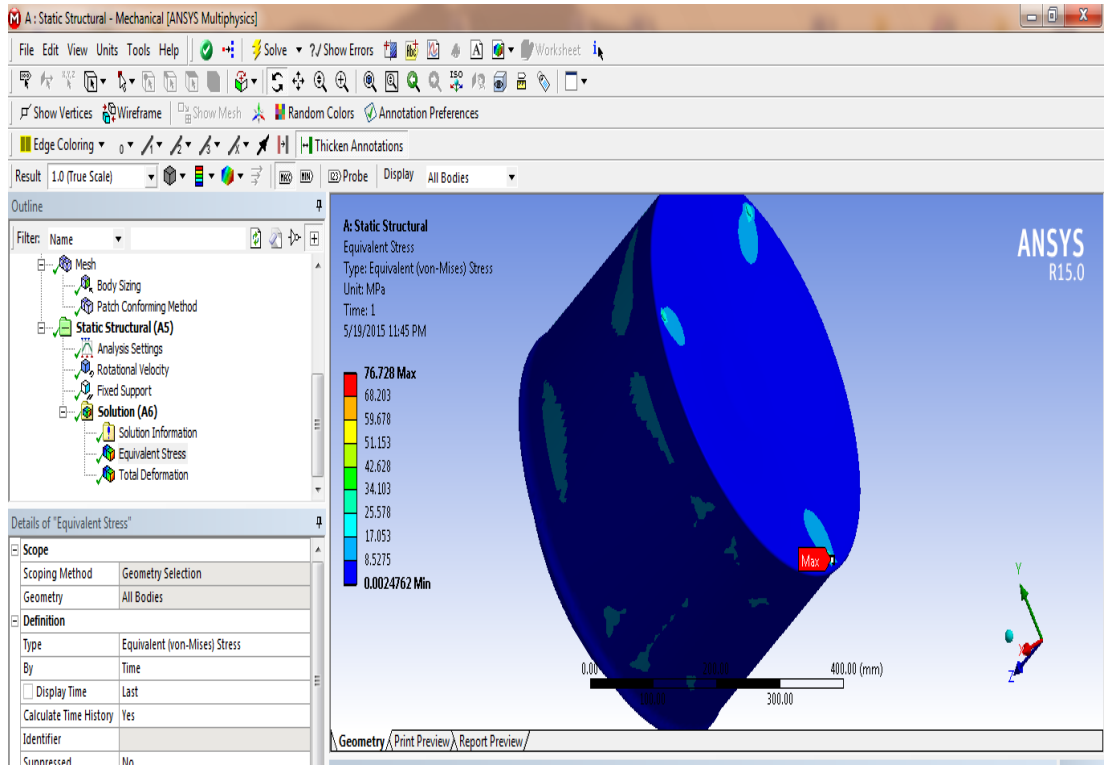
Şekil 6.10 : Analiz sonrası görüntülenmesi istenen değerlerin seçimi

6.5.1 Kalınlık değeri 0.5 mm olan tamburun analiz sonuçları

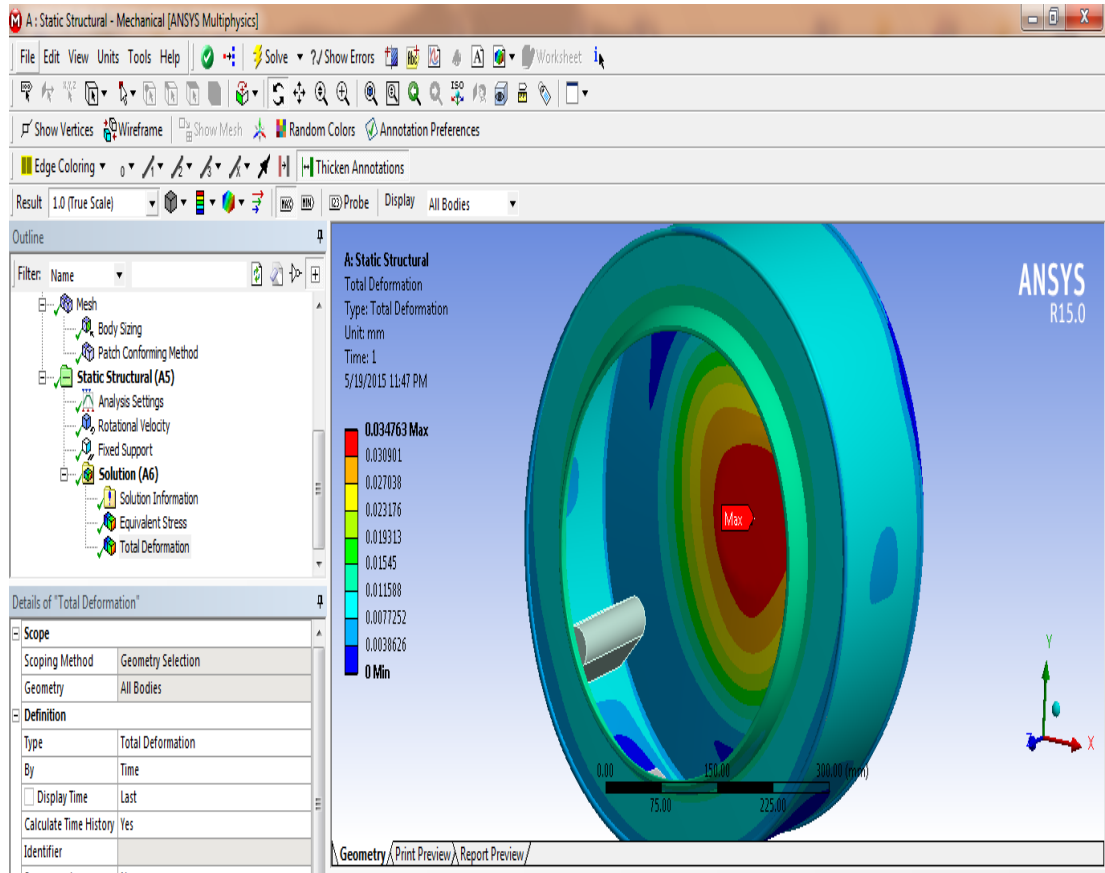
0.5 mm kalınlıklı, 10 mm eleman boyuna sahip tamburun analiz sonuçları aşağıdaki gibidir. Bu varyasyonda ayrıca eleman boylarının analize etkisi incelenmeye çalışılmıştır.

Çözümleme bittikten sonra sonuçlar Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’ deki gibi oluşmuştur. Şekil 6.11’de gerilme değerleri görülmektedir. Bu değerlerden maksimum olanı kırmızı renkte ve 76.72 MPa’dır. Oluşan en yüksek gerilme değeri bağlantı noktalarına ve çevre sacı ile arka sacın birleşimine yakın yerde tespit edilmiştir.

Bununla birlikte Şekil 6.12’de kiriş üzerinde oluşan deformasyonlar görülmektedir. Maksimum deformasyon arka sacın orta yerinde oluşmakta ve 0.034 mm’dir.



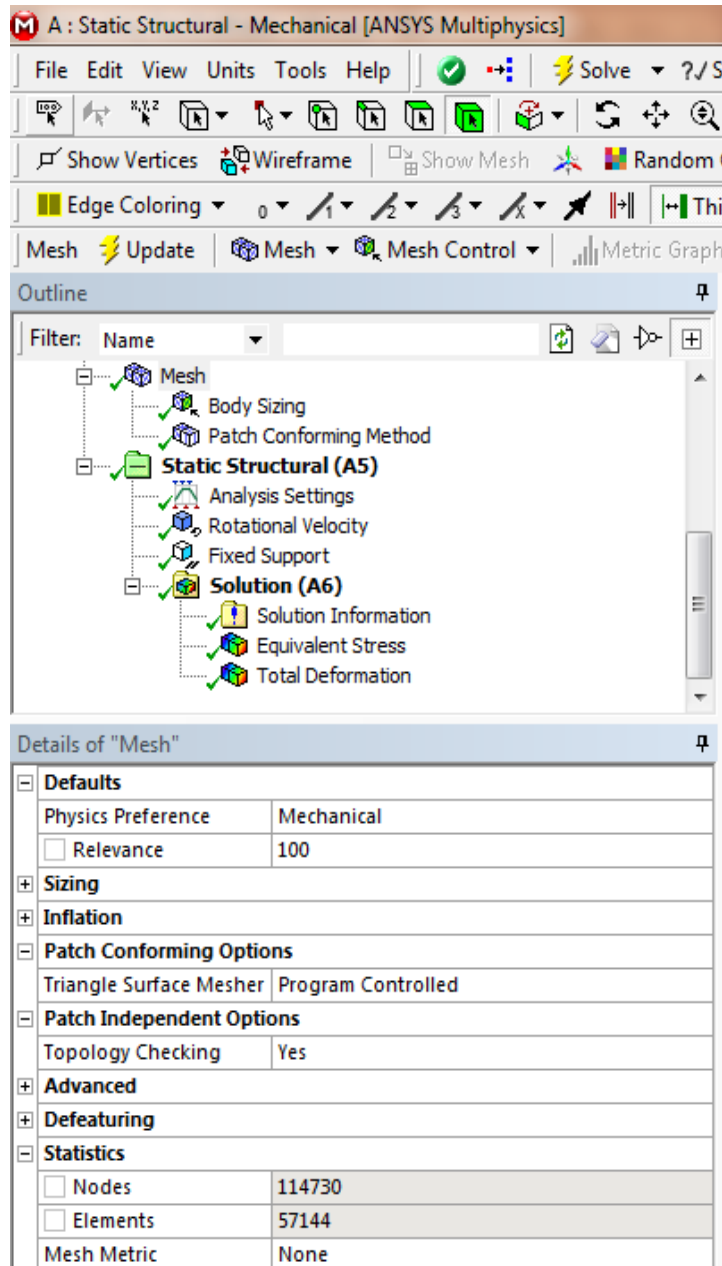
Şekil 6.11 : 0.5 mm kalınlıklı tamburun gerilme değerleri



Şekil 6.12 : 0.5 mm kalınlıklı tamburun deformasyon değerleri

Çizelge 6.3 : Tamburda farklı eleman boyutlarında oluşan genel değerler

Hesap Tarzı	Düğüm Sayısı	Eleman Sayısı	Maks. Normal Gerilme (Mpa)	Deformasyon (mm)
10 mm sonlu eleman boyutu	114730	57144	76.72	0.034
22 mm sonlu eleman boyutu	39232	19398	79.02	0.035
37 mm sonlu eleman boyutu	25169	12156	83.90	0.037



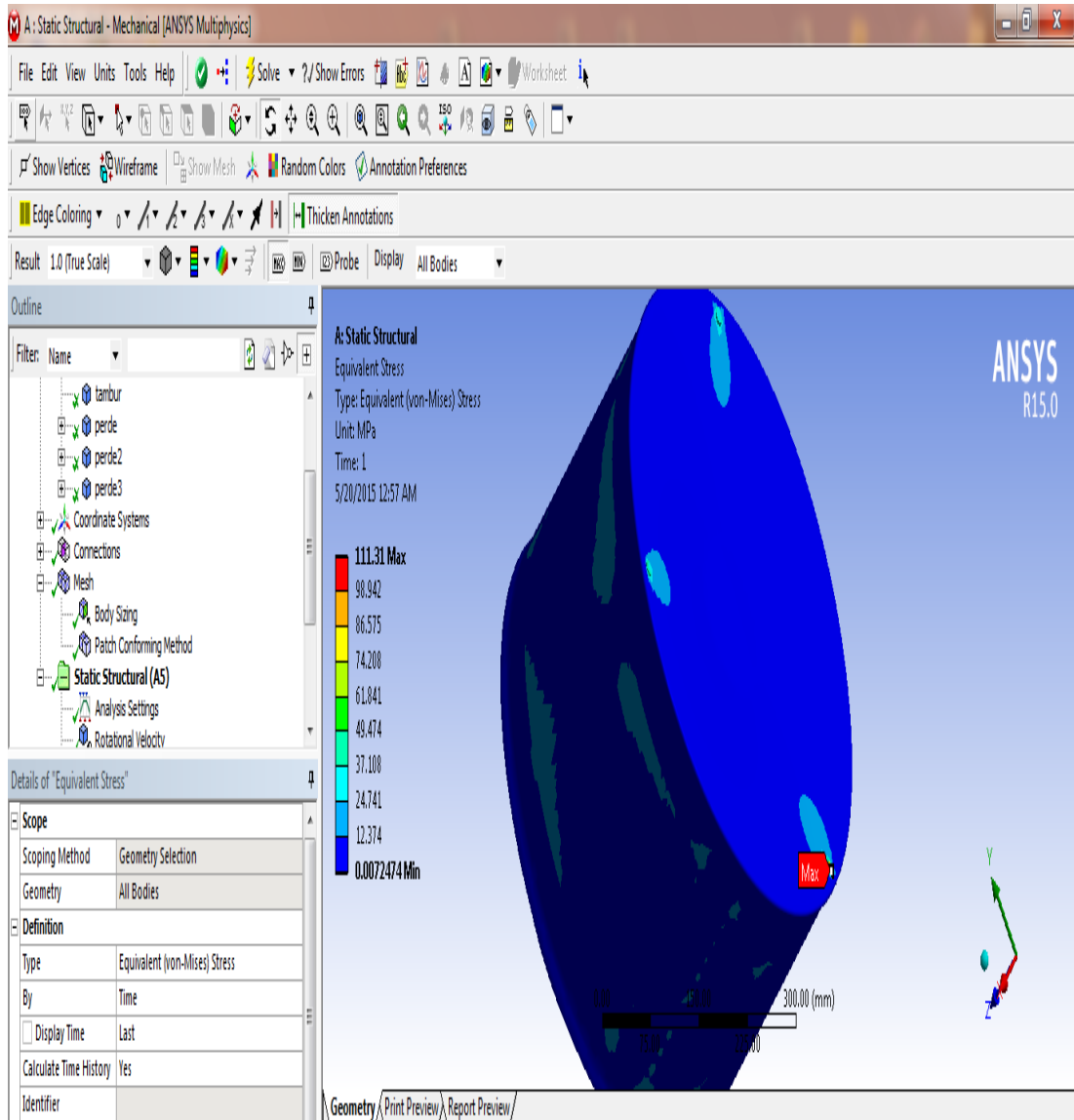
Şekil 6.13 : Düğüm ve eleman sayısının görüntülenmesi (0.5 mm)

6.5.2 Kalınlık değeri 0.4 mm olan tamburun analiz sonuçları

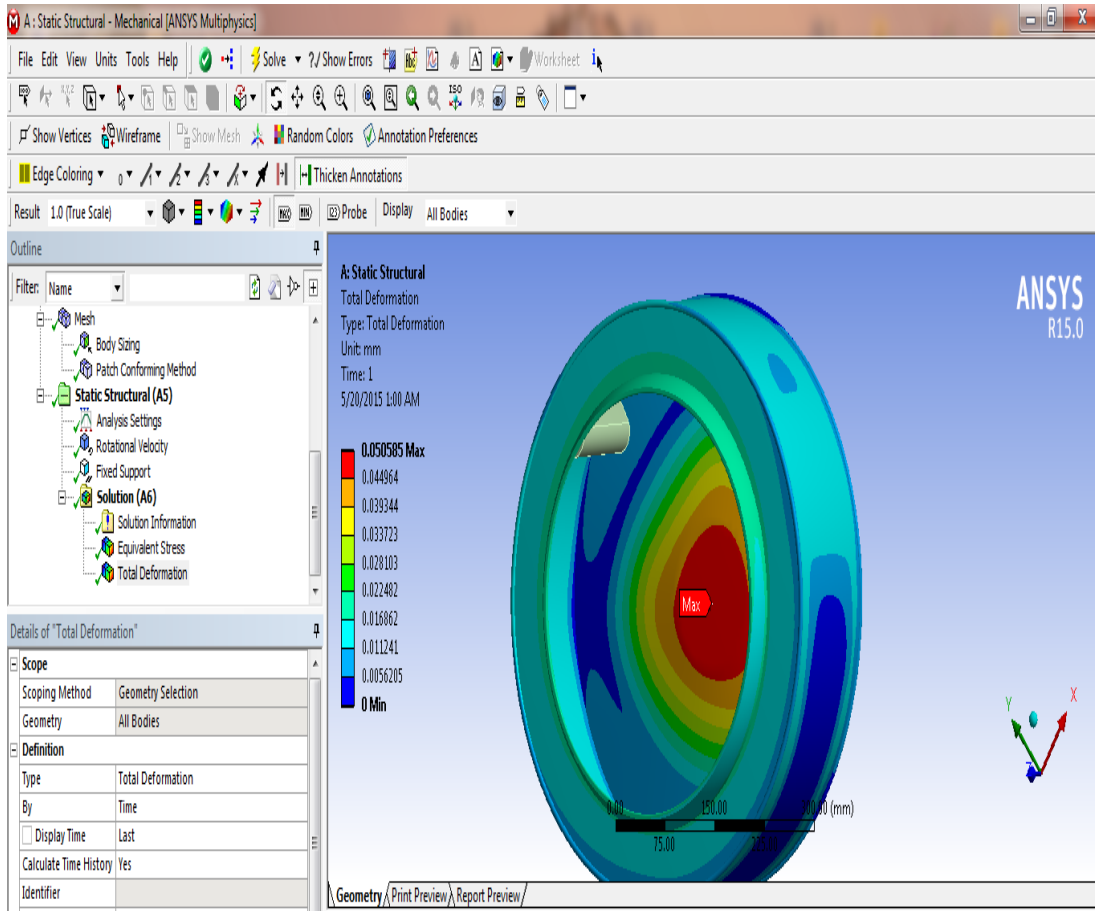
0.4 mm kalınlıklı, 10 mm eleman boyuna sahip tamburun analiz sonuçları aşağıdaki gibidir.

Çözümleme bittikten sonra sonuçlar Şekil 6.14 ve Şekil 6.15’ deki gibi oluşmuştur. Şekil 6.14’de gerilme değerleri görülmektedir. Bu değerlerden maksimum olanı kırmızı renkte ve 111.31 MPa’dır. Oluşan en yüksek gerilme değeri bağlantı noktalarına ve çevre sacı ile arka sacın birleşimine yakın yerde tespit edilmiştir.

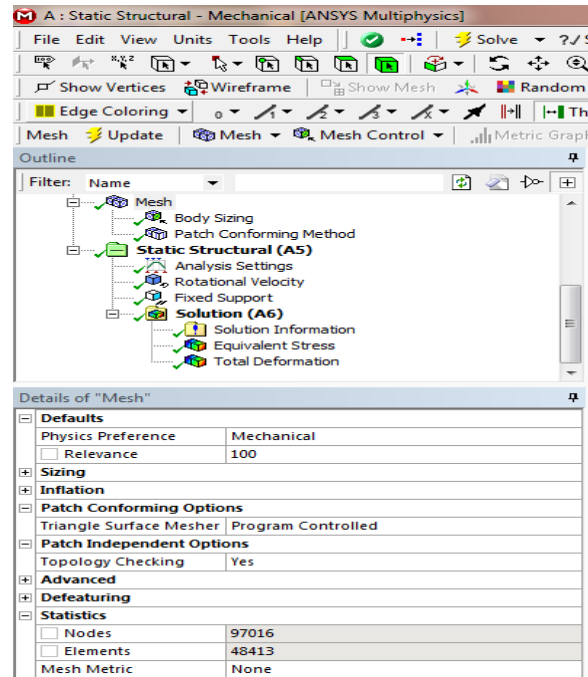
Bununla birlikte Şekil 6.14’de kiriş üzerinde oluşan deformasyonlar görülmektedir. Maksimum deformasyon arka sacın orta yerinde oluşmakta ve 0.05 mm’dir.



Şekil 6.14 : 0.4 mm kalınlıklı tamburun gerilme değerleri



Şekil 6.15 : 0.4 mm kalınlıklı tamburun deformasyon değerleri



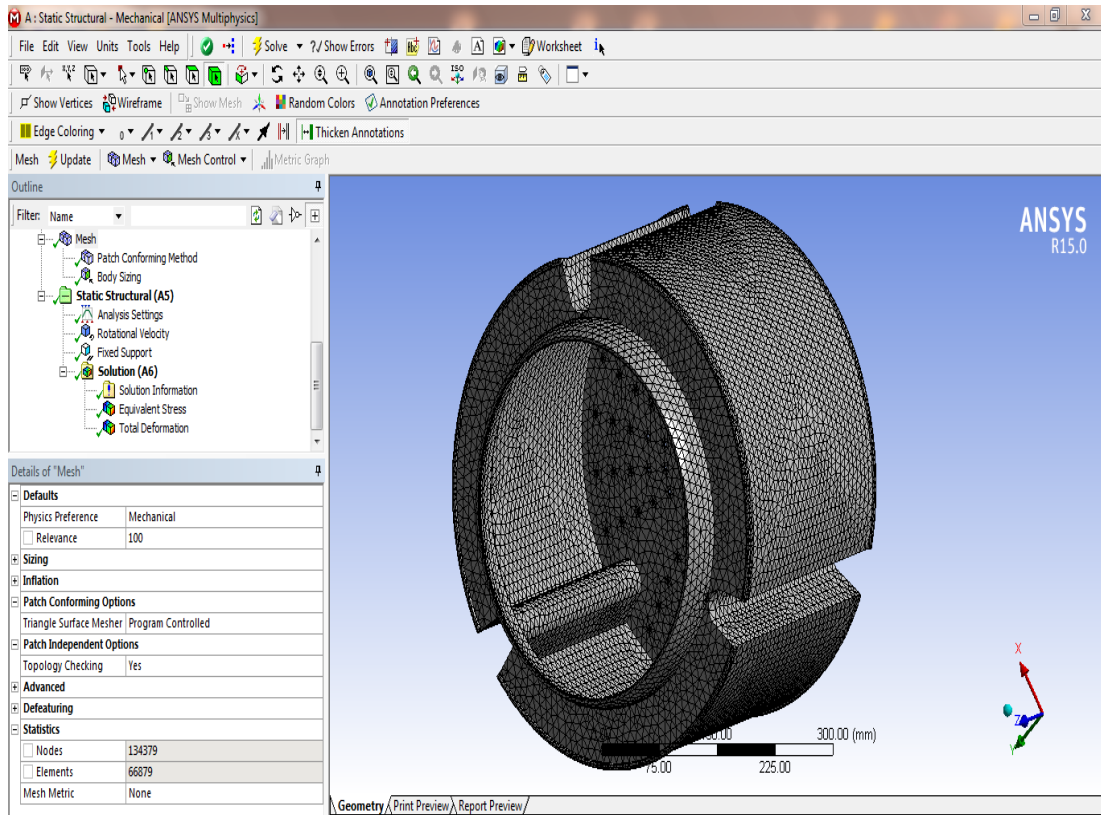
Şekil 6.16 : Düğüm ve eleman sayısının görüntülenmesi (0.4 mm)

6.5.3 Perdelerin büküm ile elde edildiği tamburun analiz sonuçları

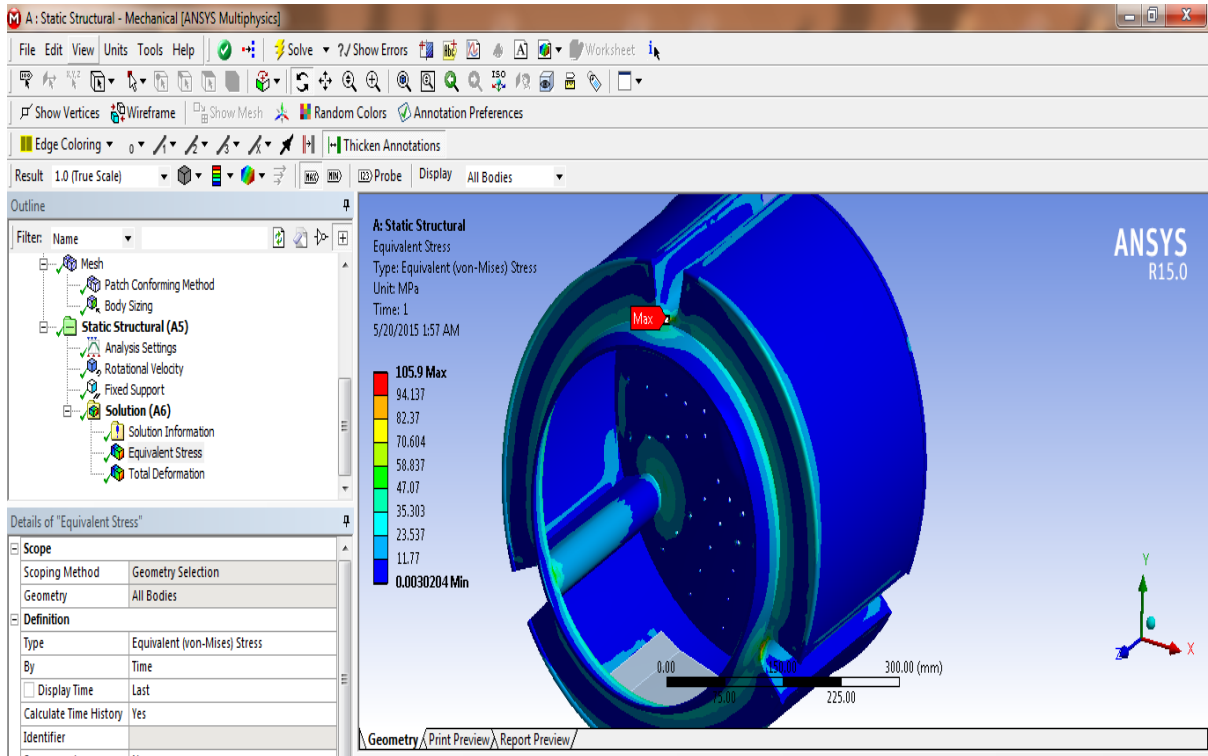
Tez çalışmasının 2.ci bölümünde de bahsedilen (Şekil 2.11), çevre sacından büküm ile perdelerin elde edildiği tambur dizaynı bu aşamada analiz edilmiştir. Söz konusu tasarımda perde malzemesi olarak polipropilen yerine paslanmaz çelik atanmıştır. 0.5 mm kalınlık değeri tasarımda esas alınmıştır.

Çözümleme bittikten sonra sonuçlar Şekil 6.18 ve Şekil 6.20'deki gibi oluşmuştur. Şekil 6.18'de gerilme değerleri görülmektedir. Bu değerlerden maksimum olanı kırmızı renkte ve 105.9 MPa'dır. Oluşan en yüksek gerilme değeri perdelerin büküm noktaları ile ön sac arasındaki bölgede tespit edilmiştir. Arka sac üzerindeki en büyük gerilme değeri ise bağlantı noktalarına ve çevre sacı ile arka sacın birleşimine yakın yerde tespit edilmiş olup söz konusu değer 89.99 MPa'dır.

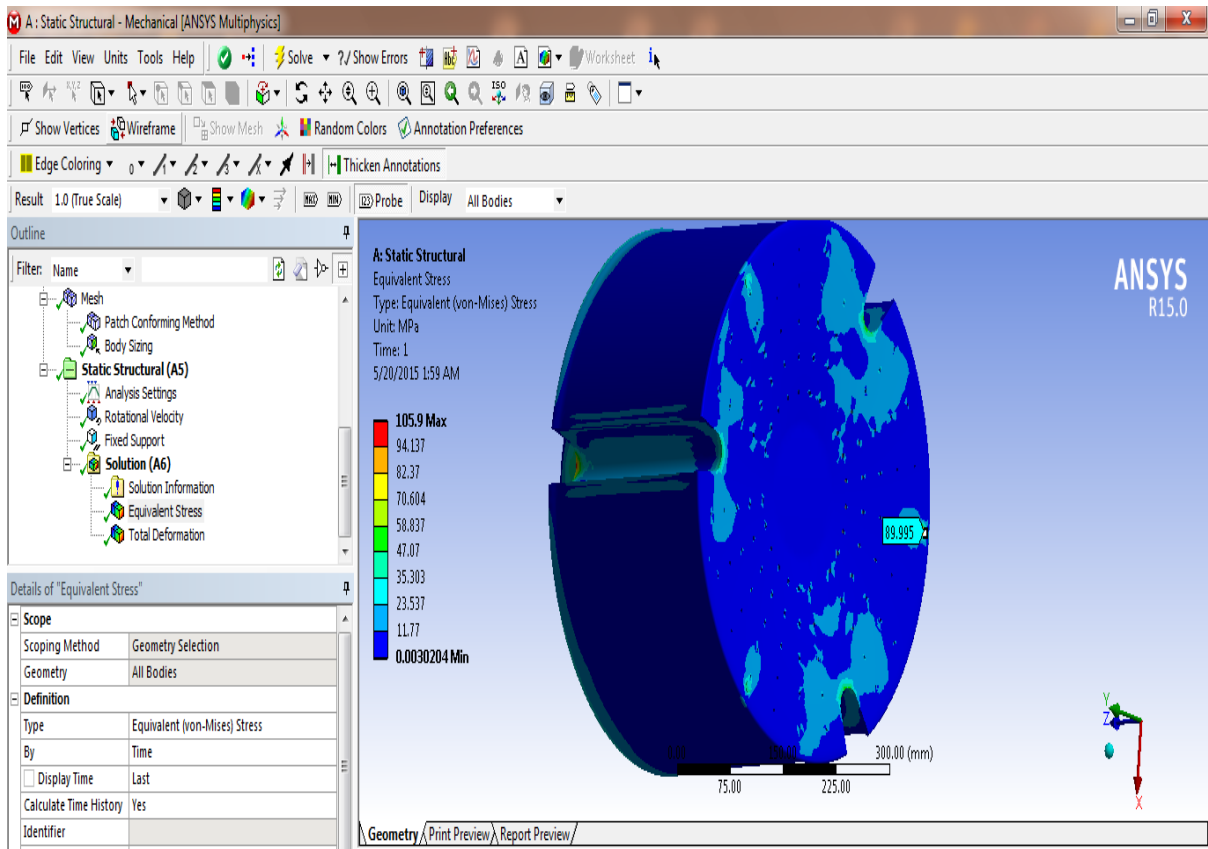
Bununla birlikte Şekil 6.20'de kiriş üzerinde oluşan deformasyonlar görülmektedir. Maksimum deformasyon ön sacda büküm noktasında tespit edilmiş olup değeri 0.1 mm'dir. Arka sac üzerinde ise 0.06 mm'lik değer arka sacın orta bölgelerinde görülmüştür.



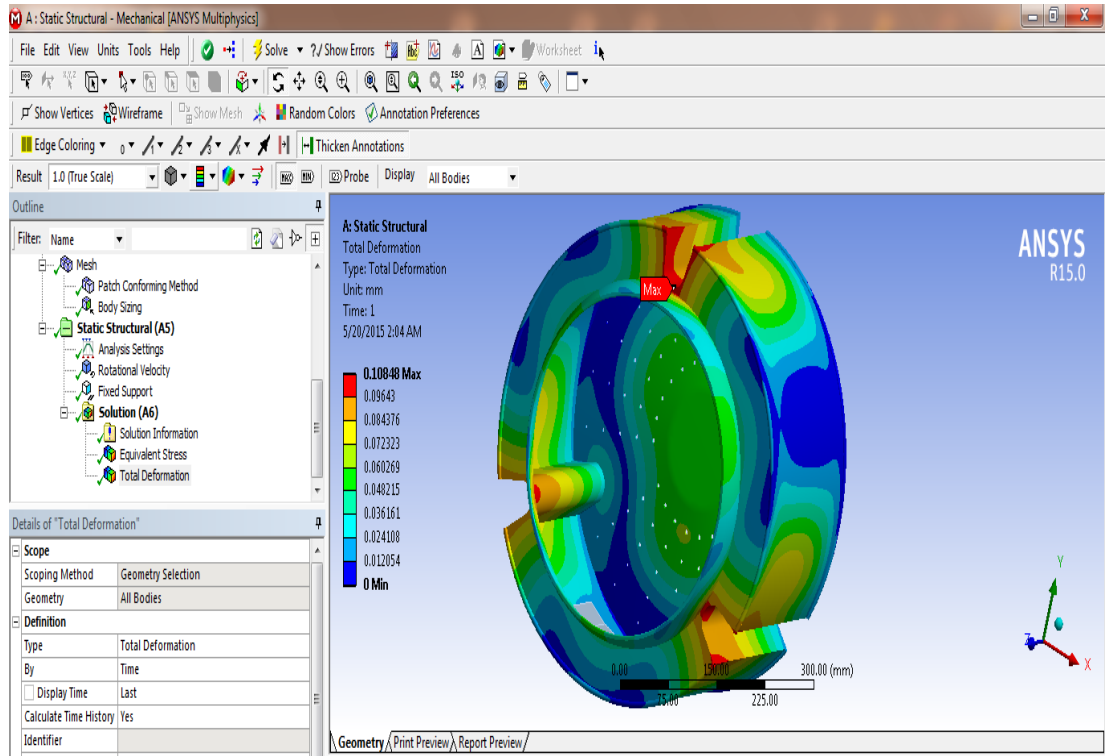
Şekil 6.17 : Tasarımın ağ örgüsü ve düğüm – eleman sayısı



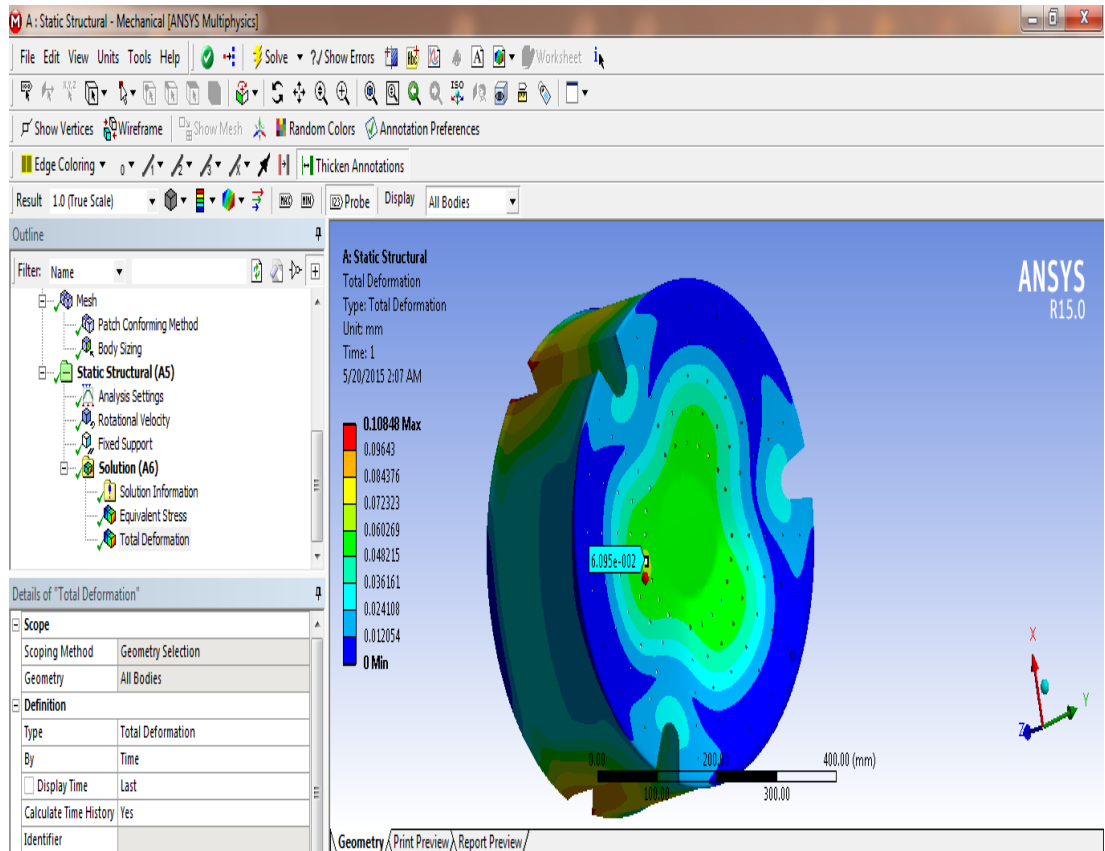
Şekil 6.18 : Tasarımda gerilme analizinin görüntülenmesi



Şekil 6.19 : Arka sac üzerinde gerilme dağılımı



Şekil 6.20 : Tasarımda deformasyonların görüntülenmesi



Şekil 6.21 : Arka sac üzerinde deformasyon dağılımı

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hazırlanan çalışma kapsamında, tambur arka sacında oluşan problemlerin tespit edilmesi ve giderilmesi için araştırmalar yapılmış ve işlemlerde bulunulmuştur.

Dengesiz yük testi vasıtası ile problem tespiti yapılmış, bu probleme çözüm olabilecek öneriler değerlendirmeye alınmıştır.

Dengesiz yük testinin yanında sonlu elemanlar yöntemi de çalışma doğruluğunun güçlendirilmesi açısından önemli bir yer tutmaktadır. Analizin elde bulunan şartlar doğrultusunda daha sağlıklı gerçekleşebilmesi için basitleştirilen üç boyutlu tambur modeli, ANSYS Workbench programı içinde yer alan statik analiz modülüne entegre edilerek gerilme ve deformasyon analizi yapılmıştır.

Çalışmanın temelini 0.4 mm kalınlığa sahip tamburda dengesiz yük testi sonucu dalgalanma ve yırtılmaların görülmesi oluşturmaktadır. Test esnasında %21.4'te dalgalanmalar %50.3'te ise yırtılmalar oluşmuştur.

Bu problemin çözümü için ilk olarak kalıp üzerinde değişikliklere gidilmiştir. Tambur arka sacında yüksek gerilmelerin oluşturduğu dalgalanma ve yırtılmaların, üretim esnasında derin çekme kalıplarında meydana gelen düzensiz baskılardan meydana gelebileceği öngörülmüştür. Bu kapsamda merkezleme pimleri ile homojen bir dağılım ve olası kaymaların önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmaların ardından test sonucunda %37.6'ta dalgalanmalar, %70.7'de ise yırtılmalar gözlemlenmiştir.

Kalıp çalışmalarında belirli ölçüde bir iyileşme görülmüş olup, elde edilen sonuçlar testin başarılı olmasını sağlayamamıştır.

Bunun üzerine kalınlık parametresinde artışa gidilmesi düşünülmüştür. Bu kapsamda belirlenen yeni değer 0.5 mm olmuştur. Yeni kalınlık değeri ile üretilen tambur arka saclarında herhangi bir dalgalanma görülmemiş olup, dengesiz yük testinin de tamamını tamamlamış ve herhangi bir dalgalanma ve yırtılmaya rastlanmamıştır (Çizelge 6.1).

Deney çalışmalarının yanında, sonlu elemanlar yöntemi ile tambur analizi gerçekleştirilerek kalınlık, tasarım ve malzeme özelliklerinin gerilme ve deformasyon değerleri etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan analizde tamburun 146 rad/sn değerine ulaşmasına kadar, üzerinde oluşacak değişiklikler irdelenmiştir. Bu analiz dengesiz yük testinin birebir simülasyonu olmayıp, gerçekleştirebilecek değişikliklerin sonuçlarının öngörülmesi açısından yardımcı olacaktır.

Söz konusu analiz kapsamında 3 temel tasarım ele alınmış olup bunun yanında eleman boyutlarının sonuçların doğruluğa etkisi görülmeye çalışılmıştır.

Çizelge 7.1 : Tasarımların karşılaştırılması

Hesap Tarzı	Düğüm Sayısı	Eleman Sayısı	Maks. Normal Gerilme (Mpa)	Deformasyon (mm)
0.5 mm kalınlık - 10 mm sonlu eleman boyutu	114730	57144	76.72	0.034
0.5 mm kalınlık - 22 mm sonlu eleman boyutu	39232	19398	79.02	0.035
0.5 mm kalınlık - 37 mm sonlu eleman boyutu	25169	12156	83.90	0.037
0.4 mm kalınlık	97016	48413	111.31	0.05
0.5 mm kalınlık - Bükümlü tasarım	134379	66879	89.99	0.06

Sonuçlarda da görüldüğü üzere 0.5 mm kalınlığa sahip tambur analizler sonucunda gerilmenin ve deformasyonun en düşük gerçekleştiği tasarım olmuştur. Gerilmenin en fazla görüldüğü yer ise bağlantı noktalarına ve çevre sacı ile arka sacın birleşimine yakın yerde tespit edilmiştir. Bükümlü tasarımda ise söz konusu bölge büküm noktaları ile ön sac arasındaki bölgedir. Bu sonuçlarla beraber plastik perde kullanımının tambur dayanımında daha fazla avantaj getirebileceği söylenebilir.

Eleman boyutlarının değişiminin sonuçlara etkisi yorumunda ise, eleman boyutlarının artışı ile daha kaba sonuçlar elde edildiği söylenebilir. Genel anlamda analiz hassasiyetinin eleman sayısı ile doğru orantılı olduğunu kabul edecek olursak, olabilecek en düşük eleman boyutu kabul etmek doğru sonuçları da oluşturacaktır.

Fakat bu işlem ile analizin süresi uzamakta, burada işlemi gerçekleştiren bilgisayarın kapasitesi önem kazanmaktadır.

Bu araştırma sonucunda elde edilen bilgi, deneyim ve veriler ışığında, tambur arka sac ömrü için optimum sac kalınlığı tespit edilmiş olup, uygun tambur-perde malzeme ve tasarımı sonlu elemanlar yöntemi aracılığıyla bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] **Url 1** < <http://www.google.com/patents/US29830> >, alındığı tarih: 17.03.2015
- [2] **Maxwell, L.**, 2009. Who Invented the Electric Washing Machine ?, USA.
- [3] **P&G Company**, 2011. History of Washing
- [4] **Url 2** < <http://www.dyson.com> > , alındığı tarih: 17.03.2015
- [5] **Türk. R.**, 2010. Çamaşır Makinesinde Çamaşır Yükünün Kestirimi Üzerine Bir Çalışma, *Yüksek Lisans Tezi*, s. 2, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [6] **Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi**, 2007. Çamaşır Makineleri, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- [7] **İrfan, C.**, 1995. Endüstriyel Çamaşırhane Planlaması, Bildiri, s.266, Makine Mühendisleri Odası, İstanbul.
- [8] **Anket, O.**, 2011. DC04 Otomotiv Sacının Hidromekanik Yöntem ile Şekillendirilebilirliğinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Deneysel Olarak İncelenmesi, *Doktora Tezi*, s.4 , Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
- [9] **Gülmez, T.**, 2011. İmal Usulleri, *Ders Notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi , İstanbul.
- [10] **Köksal, S.**, 2008. Sac İşleme, *Ders Notları*, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- [11] **Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi**, 2006. Sac Şekillendirme, s.4, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- [12] **Cerit, A.**, Plastik Şekil Verme Yöntemleri, *Ders Notları*, s.13, Erciyes Üniversitesi, Kayseri
- [13] **Çetin, M., S.**, 2007. Derin Çekme ile Soğuk Şekillendirmenin Sonlu Elemanlar Metodu Yardımıyla Analizi, *Doktora Tezi*, s.10, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- [14] **Asmaz, K.**, 2007. Çelik Saçlarda Mekanik Özelliklerin Şekillendirmeye Etkisi, IV. Demir Çelik Konferansı, Yayın No E/2007/43, 193-201.
- [15] **Erişir, E.**, 2013. Sac Şekillendirme ve Delme, *Ders Notları*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- [16] **Gün, B.**, 2007. Sıvama Yöntemleri ve Sıvama Makinesi Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, s.11, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- [17] **Ağca, B.**, 2013, Mekanik ve Hidrolik Preslerin Çalışma Prensipleri ve İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden İncelenmesi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Ankara.

- [18] **Yıldız, İ.**, 2006. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Sacların Şekillenebilirlik Özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, s.28-30, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- [19] **Taşdemir, B.**, 2012. JIB Kren Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, s. 67-76, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [20] **Topçu, M., Taşgetiren, S.**, 1998. Mühendisler İçin Sonlu Elemanlar Metodu. Mühendislik Fakültesi Matbaası, Denizli.
- [21] **Url 3** < <http://www.biomed.com/femmu/analiz/fem/seynedir.html> >, alındığı tarih: 06.04.2015
- [22] **Ergin, A., Bayraktarkatal, E., Ünsan, Y.**, 2000. Sonlu Elemanlar Metodu ve Gemi İnşaatı Sektöründeki Uygulamaları, *Seminer Kitabı*, s.2, Türk Loydu Vakfı, İstanbul.
- [23] **Kurtay, T.**, 1980. Sonlu Elemanlar Yöntemine Giriş Ders Notu, İ.T.Ü.
- [24] **Onur, A., Y.**, 2006. Asansör Kabin Çerçevelerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi ve Gerilme Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, s.49, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [25] **Erdim, M.**, 2007. Önden Yüklemeli Otomatik Çamaşır Makinesi Tamburunun Dinamik Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, s.10, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Gebze.
- [26] **Deliktaş, O.**, 2010. Kuleli İnşaat Kreninin Tasarımı ve Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, s.15, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [27] **Çayıroğlu, İ.**, Bilgisayar Destekli Tasarım ve Analiz, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- [28] **Yorulmaz, S., C.**, 2007. Paslanmaz Çelik Konstrüksiyonlarda Oluşan Distorsiyonların Etüdü, *Yüksek Lisans Tezi*, s.2, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [29] **Özdemir, C.**, 2010. Paslanmaz Çelikler ve Üretim Yöntemlerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, s.21, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad : Onur Atas
Doğum Yeri ve Tarihi : Balıkesir -1991
E-Posta : onuratas10@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2010,Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM :

- **Yüksek Lisans Proje Öğrencisi** : BSH Ev Aletleri Sanayi ve Ticaret A.Ş